ENDEAVOUR

Revista trimestral, publicada en cinco idiomas, destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

---

VOLUMEN XIX Octubre 1960 NUMERO 76

SUMARIO

58.006(421):070.432
Editorial: El jardín de plantas medicinales de Chelsea 179

582.281.22:595.7:591.557.8
Los hongos endoparásitos de insectos — M. F. MADELIN — 181

66.049:669.054.2:541.123
Refinamiento zonal — E. F. G. HERINGTON — 191

551.513:621.039.85
Los indicadores radiactivos en la atmósfera — N. G. STEWART — 197

598.817:591.521
Los pájaros pergoleros — A. J. MARSHALL — 202

591.4(091):93
Los orígenes de la anatomía comparada — W. E. SWINTON — 209

539.17.013
Algunas consecuencias de la resonancia — J. E. LYNN — 215

581.522.62:551.590.7
La aerobiología de la intemperie — P. H. GREGORY — 223

049.3
Revista de libros 228

Revistas resumidas de libros 235

Notas sobre los colaboradores 236

Libros recibidos .. .. Cubierta III

Redactor-jefe: TREVOR I. WILLIAMS
Redactores auxiliares: G. N. J. BECK (*Ediciones extranjeras*)
W. A. OSMAN

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

El jardín de plantas medicinales de Chelsea

El *Chelsea Physic Garden* representa papel poco común, por no decir único, entre las numerosas y variadas instituciones dedicadas en la Gran Bretaña al estudio de las plantas. Gran número de botánicos saben que, cronológicamente, es el segundo en las Islas Británicas: 50 años más joven que el de Oxford y anterior en un siglo a los Jardines Botánicos de Kew. El terreno que ocupa fue regalo de Sir Hans Sloane, Presidente de la *Royal Society* de 1727 a 1741. En este año en que celebramos el tricentenario del nacimiento de Sloane y de la fundación de la Sociedad, el Jardín de Chelsea está cumpliendo funciones más variadas y extensas que nunca.

En 1673 la *Society of Apothecaries* contrató el arriendo de un terreno a orillas del Támesis, justo junto a lo que entonces era el pueblecito de Chelsea, lo que facilitaba la comunicación por el río hasta la «Lonja de los Boticarios» en Blackfriars. Todavía se conserva hoy el resto de un puerto para las barcazas, aunque en la actualidad está en seco y apartado del río, como todo el resto del Jardín, por el malecón de Chelsea. El primitivo propósito de estos jardines, como de otros botánicos y de plantas medicinales de entonces, era el cultivo, sobre todo con fines pedagógicos, de plantas utilizadas en la farmacopea de la época, función que continúa cumpliendo aún en nuestros días. El Jardín, que hoy se encuentra en medio de la ciudad, ha sobrevivido con gran sorpresa de todos, a la urbanización de sus alrededores.

La «Sociedad de Boticarios» mandó construir una cerca el año siguiente al de su arriendo y recibió la propiedad del terreno en 1722 por donación de Sir Hans Sloane, quien la había adquirido diez años antes al comprar el pazo de Chelsea. El fin de tal transmisión de dominio quedó estipulado así: «para que los aprendices de la Sociedad y otros puedan mejor distinguir las plantas benéficas y útiles de aquéllas que, asemejándoselas, son, con todo, nocivas». Una de las condiciones de la cesión era que los «Boticarios» debían entregar anualmente a la *Royal Society* cincuenta ejemplares de plantas diferentes, bien secas y conservadas, crecidas durante el año en el Jardín. Sir Hans, en tanto que Presidente de la *Royal Society*, solía invitar a sus colegas a un banquete cuando la «Sociedad de Boticarios» pagaba su anual tributo botánico, entreteniéndose los comensales en inspeccionar y conversar sobre las plantas ofrecidas.

Para conmemorar la generosidad de Sloane se erigió en los jardines en 1737 un retrato en mármol, obra de Michael Rysbrach. Allí se encuentra todavía, a pesar de los humos de Londres. Este año — el del tricentenario de Sloane — bien lavado, brilla entre el suave verde de los Jardines que lo rodean.

El Jardín ha sido administrado por una larga serie de «Jardineros» o «Curadores», algunos de los cuales figuras conocidas en la historia de la horticultura. Phillip Miller (nombrado en 1722), llamado «el jardinero más famoso de su época», fue Curador durante 48 años; en 1768 su *Gardener's Dictionary* había llegado ya a su octava edición. Cuando Linneo fue a Inglaterra en 1736, uno de sus propósitos era visitar Chelsea y en sus notas escribe que Miller le había permitido recojer algunas plantas del Jardín. A Miller sucedió James Forsyth, famoso por sus métodos de poda y mejora de frutales y forestales; de él toma su nombre el arbusto *Forsythia*, hoy presente en todo jardín inglés suburbano. Robert Fortune, coleccionista famoso, fue nombrado Curador en 1846, pero renunció dos años más tarde para dedicarse con la *East India Company* a la introducción del te en la India: el género *Fortunella* (cumquats) toma asimismo su nombre de él.

Durante más de un siglo, a partir de 1724, hubo también un Director del Jardín y «Demostrador» de plantas. Uno de ellos fue William Curtis, autor de la *Flora Londinensis*, «una de las obras más bellas y exactas de la literatura botánica en la Gran Bretaña», y creador del *Botanical Magazine*, aparecido en 1787 y aún vivo. John Lindley — nombrado en 1835 y colaborador de Fortune durante el breve trabajo de éste — reorganizó el Jardín sobre la base de un sistema natural, y con Thomas Moore, el siguiente Curador, compiló el célebre *Treasury of Botany*, que fue durante muchos años valiosa obra de consulta sobre plantas económicas y especies poco conocidas.

No es del todo sorprendente que durante esta fase de su historia el Jardín fuera escena de no pocas innovaciones. Quizás la más curiosa sea su roquedal, uno de los primeros, ciertamente, que se instalaron en un jardín en la Gran Bretaña. Stanesby Alchorne, que no se distinguió como

Director por otra cosa, adquirió cuarenta toneladas de viejas piedras de la Torre de Londres, a las cuales añadió pedernales y calizas y gran cantidad de lava basáltica traída de Islandia por Sir Joseph Banks. El curioso color abigarrado que de todo ello resultó puede verse aún, pero las rocas suministran buen sostén a numerosas plantas alpinas.

En 1682 fue notable la visita del Dr. Hermann, Catedrático de Botánica de Leiden, ya que gracias a ella se estableció un intercambio de semillas y plantas entre ambos jardines, lo que se considera primer ejemplo del extendido sistema que hoy existe entre los jardines botánicos de todo el mundo. Actualmente Chelsea los realiza con unas 250 estaciones, 30 de ellas en Rusia y cinco en China.

Durante la segunda mitad del siglo XIX el Jardín pasó una mala época. La Sociedad de Boticarios ya no lo consideraba útil debido quizás a que con el progreso de la química orgánica los medicamentos ya no procedían tan exclusivamente del reino vegetal. El Jardín era ahora una carga económica, a lo cual se añadía el argumento que ya no servía debido a que las crecientes impurezas de la atmósfera de Londres y el empobrecimiento del suelo arenoso se oponían a su buena utilización como jardín botánico. La Sociedad de Boticarios solicitó por lo tanto que se modificasen las condiciones de la donación original, pero un Comité del Tesoro dictaminó en contra declarando que el jardín podía todavía servir como terreno para trabajos botánicos, decisión que han justificado los posteriores sucesos. También señaló dicho Comité que el Jardín debería ser utilizado por los estudiantes del *Royal College of Science* (en la actualidad integrado en el *Imperial College* de Londres) y de las varias escuelas politécnicas de la ciudad, opinión que también ha confirmado la historia. En 1899 se cambió la base jurídica de la administración de los jardines, que pasaron a depender de una oficina municipal, con la condición de que «tal donación sea administrada exclusivamente para ayuda del estudio de la botánica», incluyéndose «la instrucción en farmacología técnica en todo lo que al cultivo de plantas medicinales se refiere». Se construyó una nueva sala de conferencias, un laboratorio y una casa para el Curador, y se instalaron invernaderos y otras dependencias; algunos macizos se destinaron al cultivo de las plantas medicinales que aún se usan en la enseñanza farmacológica.

En la actualidad el Jardín está al servicio de la instrucción botánica en todos sus niveles y lo usan estudiantes de todas las edades. El *Junior Naturalists Club* se compone de escolares de ocho a 16 años, quienes trabajan en el Jardín bajo la dirección de maestros durante sábados y fiestas. Hoy se reconoce la gran importancia que tiene estimular entre los jóvenes estos estudios: este año, cuatro ex socios de este club cursan estudios universitarios de botánica.

Los cursos de extensión universitaria y de repaso para maestros hacen uso frecuente del jardín y de sus dependencias. Pero los utilizadores más frecuentes de las facilidades que ofrece esta institución son los estudiantes universitarios y de las escuelas politécnicas. El año pasado visitaron el Jardín unos 4000; un número mucho mayor hizo uso en clases y laboratorios de numerosas instituciones docentes del material botánico cultivado en el Jardín, ya que durante ese año se suministraron 30 000 especímenes sólo para trabajos de exámenes: durante algunos años se han enviado más de 80 000. El Jardín ha mantenido estrecha relación con el Departamento de Botánica del *Imperial College*, al que suministra casi diariamente material botánico; las clases de botánica sistemática tienen lugar en el Jardín y sus dependencias, y hay un sistema de refrigeración de flores para que los estudiantes puedan tener ejemplares durante el invierno.

Pero es en el campo de la investigación donde esta cooperación con el *Imperial College* tiene más tradición. Los estudios sobre el crecimiento vegetal y, en especial, sobre su relación con la longitud diurna y con la temperatura — en los que descollaron F. G. Gregory y O. N. Purvis — se realizaron todos en el Jardín y sus laboratorios. En la actualidad se llevan a cabo investigaciones sobre la traslocación del crecimiento, el metabolismo del nitrógeno, las glándulas bacterianas y las enfermedades de tipo mosaico. Es de justicia añadir que las presentes actividades del Jardín se deben en gran parte al entusiasmo y competencia de su actual Director.

Dos cosas sobre todo impresionan al botánico que visita el Jardín. En primer lugar, allí parece haberse trasladado uno a otro ambiente y a otro siglo. La patina de las paredes es del XVIII, pero con ella armonizan los laboratorios construidos durante el nuestro: en muy pocos lugares puede el visitante tener conciencia, como en éste, de la continuidad de la historia botánica. En segundo lugar, el investigador puede continuar allí sus trabajos taxonómicos sin ser interrumpido por el público, cosa inevitable en otros jardines botánicos, pues estos terrenos se reservan para el libre trabajo de todo estudioso que lo solicite de las autoridades del Jardín.

Los hongos endoparásitos de insectos

M. F. MADELIN

Aunque hace mucho tiempo que se vienen estudiando los hongos que se desarrollan sobre los insectos, las singularidades fisiológicas derivadas del peculiar comportamiento entomogénico propio de dichos hongos habían pasado desapercibidas. Es muy importante ahondar en el conocimiento de la fisiología y conducta de los hongos parásitos de insectos, con vistas a valorizar el control biológico de estos animales mediante dichos hongos.

EL HABITO DE PARASITIZAR

La mayoría de los hongos que viven sobre insectos y los destruyen son parásitos facultativos. Su vida no depende absolutamente de sustratos vivientes, aunque muchos de estos hongos son difíciles de desarrollar en cultivos artificiales, y no faltan otros que hasta la fecha nunca fueron cultivados fuera de sus habituales hospedadores vivientes. Es posible, sin embargo, que estos hongos, aún no cultivados artificialmente, lleguen algún día a serlo dada su gran afinidad con otras especies que prosperan en cultivos artificiales. El hecho mismo de que maten a sus hospedadores sugiere — como con los hongos patógenos de los vegetales — que su parasitismo no sea obligado. Existen muchos grados de adaptación a la vida parasitaria y también varía según casos la importancia que corresponde a la fase parásita en el ciclo vital conjunto del hongo. En un extremo se encuentran la mayoría de los Entomoftoreos y ciertos hongos inferiores como *Myiophagus* y *Coelomomyces*, los cuales se encuentran libremente sólo en insectos; en el otro extremo se hallan especies como *Aspergillus flavus* y *Mucor hiemalis*, para los cuales la parasitización de insectos es probablemente un episodio puramente accidental dentro de su ciclo normal de vida. Se trata de hongos habituados a vivir en restos orgánicos inertes (son saprofitos) e infectan casualmente insectos vivos por razones todavía no bien comprendidas. La adquisición del verdadero hábito entomógeno implica seguramente la apropiación de todo un complemento de caracteres patógenos, entre ellos el asegurarse el contacto con el insecto y la capacidad para penetrar en él, invadirlo y matarlo. Quizá, a veces, el cambio de hábito arranque del hecho fortuito del contacto entre hongo e insecto, aunque lo más probable es que el hábito sea debido a la adquisición de una determinada característica fisiológica adecuada, nacida por mutación genética del hongo.

INFECCION DEL INSECTO HOSPEDADOR

El hongo infecta al insecto bien a través de la pared del tubo digestivo o bien a través del tegumento. Este es una estructura compleja en la cual destaca una capa continua de células epidérmicas recubierta de cutícula. La parte más exterior de ésta es la epicutícula, compuesta a su vez acaso de varias capas, una de las cuales suele ser de cera. Bajo la epicutícula viene la procutícula, sólida capa de proteína y quitina, sustancias que pueden ir unidas químicamente. La quitina es un polímero de elevado peso molecular formado a base de elementos de N-acetil glucosamina unidos con enlaces β-glicosídicos. La solución de continuidad de la capa tegumentaria es rota por los estigmas o aberturas externas de las tráqueas con que respira el insecto; éstas, a su vez, están recubiertas de cutícula quitinosa. El tubo digestivo se compone de tres partes principales: intestino anterior, medio y posterior; el primero y el último revestidos también de quitina, que falta en el medio.

Se han señalado tubos germinales fúngicos capaces de penetrar a través del tegumento externo del insecto; así en *Aspergillus flavus* [1, 2], *A. fumigatus* [2], y *Beauveria bassiana* [3]. Créese que los Entomoftoreos entomógenos suelen infectar a través del tegumento; G. Schweizer [4] logró observar tubos germinales de *Empusa muscae* penetrando en una mosca de ese modo. Pero no se sabe bien cómo se realiza esa penetración.

La capa de cera de la epicutícula evita sin duda que muchos hongos entren en el cuerpo. A. S. Sussman [5] vio que al desencerar con éter ninfas de *Platysamia cecropia*, éstas perdían también su resistencia frente a la infección con *Aspergillus flavus* por vía tegumentaria. Análogamente, K. Koidsumi [6] halló que las larvas de gusano de seda (*Bombyx mori*) y de *Chilo simplex*, se hacían muy susceptibles al *A. flavus* y otros hongos cuando eran desposeídas de los lípidos epicuticulares. Se

atribuyó esta acción antimicoide de los lípidos ante todo a la presencia libre en la cutícula de ácidos grasos saturados de cadena moderada (acaso caprílico y cáprico). Muchos hongos patógenos de plantas tropiezan también con una barrera protectiva similar formada por la propia cutícula cérea que reviste la epidermis de los brotes; al parecer, no existen hongos capaces de digerir enzimáticamente la cutícula vegetal, de modo que la penetración de los tubos germinales ocurre según fenómenos mecánicos. Es posible que la cutícula cérea de los insectos sea perforada también mecánicamente, aparte de que la movilidad misma del insecto debe facilitar la entrada debido al consiguiente desgaste de la cutícula. Se sabe al menos que la abrasión de ésta reduce mucho la resistencia del insecto [6].

En 1934, C. L. Lefèbvre [3] sugirió, a base de sus propias observaciones, que la perforación de la procutícula quitinosa ocurriría por reblandecimiento y lisis enzimáticos seguidos de presión mecánica. Pero la acción de la quitinasa no se ha demostrado cabalmente en hongos entomógenos hasta hace poco. J. Huber [7] vio que los cuatro parásitos comunes *A. flavus*, *B. bassiana*, *Cordyceps militaris*, y *Metarrhizium anisopliae*, pueden todos ellos hidrolizar quitina en N-acetil glucosamina, si bien no fue capaz de determinar D-glucosamina, la cual es liberada concomitantemente al ser descompuesta la quitina por las bacterias.

Algunos hongos penetran por los estigmas en vez de atravesar el tegumento. P. Lepesme [8] vio que *A. flavus* no infecta a la langosta *Schistocerca gregaria* desde el exterior si los estigmas de ésta se taponan con algodón. También comprobó que la infección es más fácil vía estigmas torácicos que vía abdominales. Esto podría explicarse, sin más, porque el aire entra por aquéllos y sale por éstos, pero tal explicación se contradice con el descubrimiento hecho por Lepesme de esporas micoides dentro de las tráqueas abdominales de insectos contaminados naturalmente. Además, la introducción natural o artificial de esporas en las tráqueas abdominales, rara vez ocasiona la enfermedad. Lepesme concluyó que los tejidos musculares del torax deben favorecer el desarrollo de las esporas que penetran por los estigmas torácicos. C. F. Burnside [2] notó que las esporas de *A. flavus* no parecen capaces de germinar en las tráqueas de la abeja, atribuyendo esto a la sequedad reinante en éstas a causa de su constante aireación.

El éxito de la infección a través del tegumento de un insecto alejado del suelo, requiere condiciones microclimáticas similares a aquellas que se conocen en plantas atacadas por hongos, a saber: temperatura favorable y elevada humedad que dure lo suficiente para que el tubo germinal penetre en el hospedador. La infección con *Myiophagus ucrainicus*, que ataca Cóccidos y otros insectos, requiere la presencia de agua, necesaria para la natación de sus esporas flageladas. En cambio, el elemento infectante de otros hongos entomógenos, sobre todo aquellos cuyo insecto hospedador es contactado en el suelo, debe ser un micelio vegetativo y no una espora. *Isaria farinosa* (Fig. 1), cuyos blancos cuerpos copetudos saliendo de enterradas larvas infectadas de Lepidóptero son comunes en otoño, puede servir de ejemplo.

La infección ocurre de ordinario a través de las paredes del tubo digestivo, a menudo al mismo tiempo que a través del tegumento. Se ha visto, por ejemplo, que *A. flavus* y *B. bassiana* infectan insectos de las dos maneras, y es probable que con *Sorosporella uvella* ocurra lo propio [9]. La infección por el intestino depende de condiciones algo singulares. La espora debe conservarse potente en el seno de los jugos del insecto; debe poder germinar en las condiciones físicas y químicas dominantes, al menos en cierto tramo intestinal, y su tubo germinal debe ser capaz de perforar la pared del intestino. La humedad reinante fuera no ha de afectarle. En cuanto a las condiciones intraintestinales, varían según tramos. Por ejemplo, en el intestino anterior el *p*H depende ante todo de la calidad del alimento. En el intestino medio el *p*H varía de 3 a 10, según especies, y en cada individuo incluso hay variaciones a lo largo de dicho intestino. En el intestino posterior la variación del *p*H rara vez es tan acentuada como en el medio. Supónese pues, que el hongo elije específicamente el sitio de infección, pero de esto apenas se sabe. Sussman [1] ha observado *A. flavus* penetrando a través del intestino posterior de larvas de *P. cecropia*.

Burnside [2] concluye que la virulencia de hongos que atacan por vía intestinal a las abejas debe depender de la capacidad de resistencia a jugos digestivos inherente a sus esporas o micelios. Vio que sólo las esporas de viejos cultivos de determinada estirpe de *A. ochraceus* podían infectar abejas por vía intestinal. Al envejecer, la cubierta de las esporas crece en espesor y dureza, creyendo dicho autor que con ello aumente la resistencia frente a los jugos. Opina también que, una vez germinada la espora, los jugos digestivos de la abeja no surten efecto sobre el joven micelio. Una explicación alternativa sería que las esporas han

atravesado antes de germinar el tramo intestinal donde su viabilidad es peligrosa.

La penetración, y los estadios infectivos inmediatamente relacionados con ella, producen a veces enseguida síntomas locales. A menudo la reacción del hospedante no es específica, produciéndose pigmentación negra [1, 10, 11]. Pueden ocurrir otras reacciones locales de los tejidos vivos. En *Galleria mellonella* la hipodermis llega a menudo a desprenderse de la procutícula suprayacente, y en el espacio resultante vienen a acumularse células sanguíneas a modo de abceso [10]. En la larva del escarabajo del Colorado se observa cómo la zona atacada por *M. anisopliae* se hincha como un forúnculo debido a la formación de un cojinete de micelio dentro de la pared del cuerpo, y llega a ser tan grande que revienta la cutícula suprayacente [11].

INVASION DEL HOSPEDADOR INFECTADO

El hongo puede invadir el hospedador de dos modos: bien por simple crecimiento del micelio, bien por emisión de células aisladas llamadas — según autores — conidios, gonidios cilíndricos, cuerpos hifales o blastocistos. Estas células circulan por la sangre, donde se multiplican, o son sólo transportadas hasta los diversos lugares donde ocurrirá la infección secundaria. En ciertos hongos la multiplicación de tales células pronto o tarde lleva a la producción de hifas, mientras que en otros las mismas células producen filamentos esporígenos, o se convierten ellas mismas en esporas. *A. flavus* invade al parecer siempre como micelio [1, 2, 8, Fig. 2]; *M. anisopliae* puede colonizar de ambos modos; en cambio, *Saccharomyces* spp. [2], *S. uvella* [9], *Entomophthora fumosa* [12], y cierto número de especies de *Empusa* [13], dan todos células que circulan por la sangre.

Al invadir el hospedante, estos hongos tienen sus preferencias por ciertos tejidos, reveladas según determinados tipos de distribución y abundancia. A veces la proliferación abundante ocurre en el seno de la sangre, sobre todo en aquellos hongos que dan células libres como elemento importante del ciclo vital; ejemplos, *Saccharomyces* spp., *S. uvella* y ciertas especies de *Empusa* y *Entomophthora*. *E. fumosa* [12] y diversas levaduras patógenas [2] llegan a producir tantas células libres en sangre que ésta se pone lechosa. Células similares deben producir sustancias (quizá enzimas) que malogran otros tejidos [9]. En otros hongos no se desarrolla tanto la fase de célula libre, la cual acaso no tiene otro significado que el de invasión casual en un medio más o menos susceptible, o equivaldría a una cierta fase en la diseminación interna del agente patógeno.

La distribución del agente con la circulación sanguínea es cosa pasiva. En cambio, la invasión de hifas acusa de ordinario preferencias por ciertos tipos de tejidos. En los Entomoftoreos se da a menudo el ataque precoz del cuerpo graso y la proliferación dentro del mismo. Así, los tubos germinales penetrantes de *E. muscae* crecen directamente hacia los tejidos grasos de la mosca doméstica; una reacción similar manifiestan iguales tubos en cultivos artificiales con respecto a la materia grasa [4]. También atacan precisamente el cuerpo graso *A. flavus* en larvas de *P. cecropia* [1] y *B. bassiana* en las de *Pyrausta nubilalis* [3]. Después de invadir el cuerpo graso, *B. bassiana* pasa a atacar las glándulas de la seda y los tubos de Malpighi, y luego las envolturas quitinosas del intestino anterior y posterior; sólo más tarde ataca músculos, sistema nervioso y gónadas. En contraste con lo dicho, *A. flavus* nunca se ha observado dentro de langostas (*S. gregaria*) adultas enfermas (y todavía vivas) en otro sitio que músculos, habiendo fracasado los ensayos de cultivo en tejidos adiposos extirpados [8]. Probablemente existe en esos tejidos alguna sustancia inhibidora que no sea grasa, glucógeno, ni proteína, sustancias en ellos abundantes. Asimismo, levaduras patógenas inoculadas en abejas adultas se desarrollan copiosamente en las fibras musculares del torax, donde, a pesar de estar sometidas a baño de corriente sanguínea, se multiplican sin alterar su situación [2]. Aquí, pues, la distribución del agente patógeno depende más de la anatomía del hospedador que de las preferencias del hongo. En moscas domésticas y en larvas de escarabajo del Colorado vivas e infectadas por *M. anisopliae*, el hongo se localiza en zonas de la pared somática y en la sangre. Sólo después de fallecer el hospedante el parásito penetra y consume tejido nervioso, fibras musculares y cuerpo graso [11]. Es importante discriminar entre la fase parasitaria y la saprofítica de la invasión, de otro modo pasaría desapercibido el hecho de la resistencia vital en ciertos tejidos u órganos.

A veces una barrera física puede influir en el curso de la invasión. El macho adulto de la cigarra *Tibicina septendecim* posee dentro de la región anterior del abdomen un saco vacío que en parte forma como un tabique transversal de la cavidad del cuerpo. El hongo *Massospora cicadina* (Entomoftoreo), que ataca a dicha cigarra, sólo se desarrolla en los genitales y otros órganos

posteriores al citado tabique, y en ellos produce conidios. Cuando, al final, la infección llega a dar esporas durables, el tabique es destruido por el micelio preexistente y la masa de esporas invade la cavidad abdominal anterior [14].

SINTOMAS PATOGENOS

El ataque del hongo determina una serie de síntomas que a veces son característicos. No obstante, hay síntomas comunes a diversos hospedadores y enfermedades. Incluyen ciertos cambios de conducta, de estructura interna, de color y algunas alteraciones fisiológicas del insecto. Varios síntomas pueden presentarse en un mismo insecto al tiempo o de modo sucesivo, y es seguro que a veces están relacionados unos con otros.

Rasgo etológico vulgar y precoz es la pérdida de apetito, la cual suele ir acompañada de cierto desasosiego que compele al insecto a abandonar la querencia donde come [15]. Las abejas atacadas por *Aspergillus* tienden constantemente a huir de las colmenas, y cuando las abejas sanas ya reposan ellas siguen inquietas [2]. El mismo desasosiego suele motivar que insectos enfermos asciendan por ramas y follajes; así, su muerte en las ramas altas facilita después la dispersión de las esporas patógenas [15, 16]. Los insectos atacados verifican movimientos débiles y desacompasados [1, 2, 9, 12], debido quizá a parálisis parciales. *A. flavus* puede paralizar solo un órgano o un lado de las abejas y langostas atacadas, inutilizando así algunos de sus miembros [2, 8]. En la mosca, la parálisis va asociada con reblandecimiento enzimático de los músculos. Esto aparte, es posible demostrar *in vitro* la formación de una enzima que ocasiona síntomas visibles en abejas a las 4 horas de ser ingerida, y la muerte a las 10 horas [2]. Lepesme [8] explica la parálisis de langostas atacadas de *A. flavus* por la presencia física de este en los músculos, pero también aquí se observa que los músculos se reducen ocasionalmente a una pulpa parduzca. *B. bassiana* paraliza también muy deprisa los insectos atacados, al menos a veces. E. Dresner [17] vio que espolvoreando moscas domésticas adultas con esporas de *B. bassiana* en un ambiente de humedad sostenida cien por cien, quedaban paralizadas al cabo de media a tres horas. Esto hace sospechar haya una toxina que se difunde por el cuerpo de los insectos.

Son de varios tipos los cambios de color que ocurren en insectos atacados. Algunos se deben al color mismo del hongo o a pigmentos que éste produce; otros son resultado de reacciones de melanina. Larvas de Noctuido infectadas con *S. uvella* se tornan blanco crema uno o dos días antes de morir; si se punzan rezuman sangre blanca a causa de la abundancia de células libres del parásito.

Manchas pardo-rojizas que aparecen a veces poco antes de morir, son producidas también por la presencia de esporas latentes similares [9]. Las esporas latentes de *Coelomomyces* spp. tiñen de pardo-rojizo las larvas atacadas de los mosquitos. Según Lepesme [8] las motas ocráceas que surgen en el torax de *Schistocerca* adultas infectadas por *A. flavus* serían debidas a un pigmento amarillo segregado por el hongo, cuyo micelio corresponde en situación con el de dichas motas. El mismo hongo determinaría también la aparición de gránulos de melanina en el torax de la langosta, y causaría una reacción melánica en la sangre de larvas de *P. cecropia*. Esta reacción puede ser inhibida en animales enfermos con sustancias queladoras de cobre, pero aún así sobreviene la muerte [18]. Larvas de *Malacosoma* spp. infectadas con *Empusa megasperma* se vuelven negras o pardas, y en tres de las especies del género los insectos enfermos contienen abundantes cristales amarillos de composición desconocida [13]. En cambio, *Empusa planchoniana* da color rojo ladrillo a ciertos pulgones normalmente negros.

Sussman [19], estudiando cambios fisiológicos relacionados con el ataque de *A. flavus* en ninfas de *P. cecropia*, halló que la cantidad de oxígeno consumido por ninfa y hongo aumentaba exageradamente durante los primeros días de la infección. La tasa de la pérdida de peso en ninfas infectadas era unas siete veces mayor que en las sanas.

RESISTENCIA A LA INVASION

Se han mencionado las propiedades defensivas de la cutícula. Su importancia es clara desde que se sabe que diversos hongos nunca o rara vez parásitos de insectos pueden ocasionar su rápida muerte cuando son inoculados directamente en la cavidad del cuerpo [2, 10]. Existe, sin embargo, una nueva barrera en la sangre, donde las esporas y células micoides libres quedan de ordinario expuestas a la acción fagocitaria y lítica de los fagocitos. Si bien A. T. Speare [9] notó que las células de *S. uvella* no eran ingeridas por los glóbulos de hospedadores susceptibles (y, en caso de serlo, sobrevivían a la infección), en cambio vió que en hospedadores resistentes aquellas células no sobrevivían dentro de la sangre, a menos de ser inoculadas en tan gran número, que los fagocitos no fueran — al parecer — capaces de dar cuenta de ellas. Introduciendo esporas del hongo patógeno

FIGURA 1 – *Cuerpo fructífero de* I. farinosa *en una ninfa muerta de Lepidóptero.*

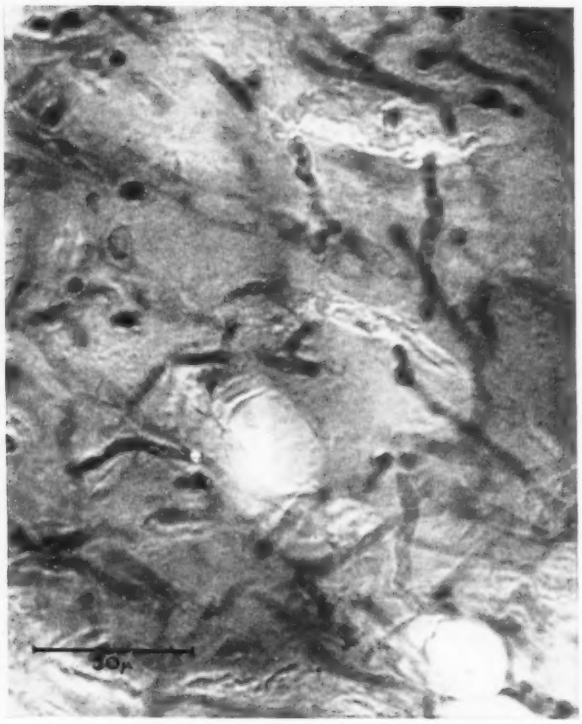


FIGURA 2 – *Micelio de* A. flavus *en los músculos del ala de una langosta* (S. gregaria) *al momento de morir ésta.*

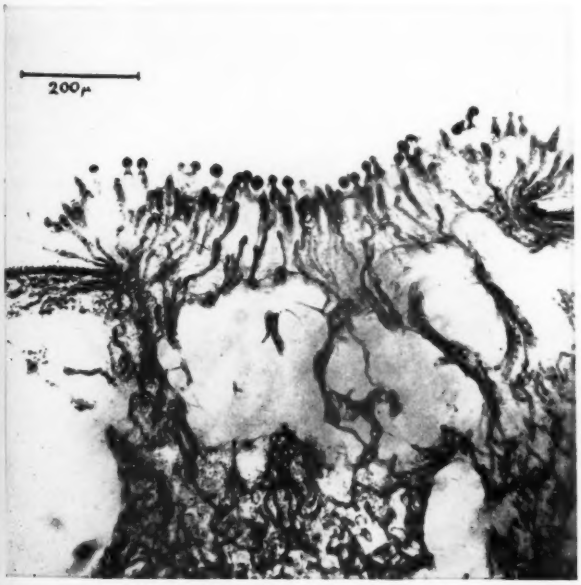


FIGURA 3 – *Sección longitudinal del abdomen de una mosca muerta por* E. muscae, *mostrando la emergencia de esporangióforos a través de la rota membrana intersegmentaria.*

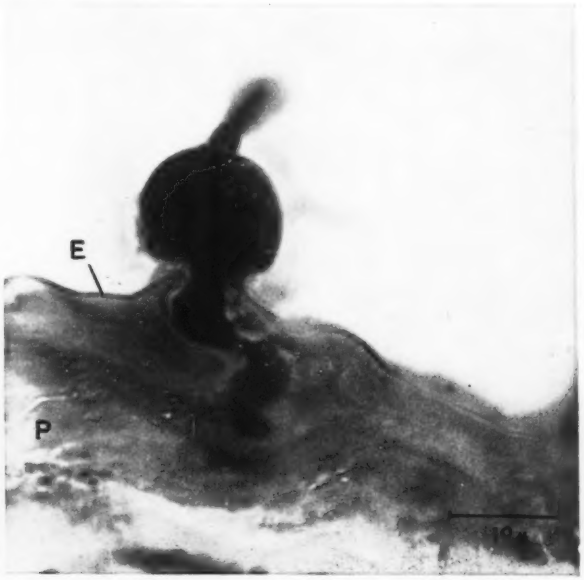


FIGURA 4 – *Emergencia premortal de una hifa única de* A. flavus *a través del tegumento torácico de una langosta. La hifa se hincha antes y después de la perforación de la epicuticula* (*E*). (*P, procuticula quitinosa*).

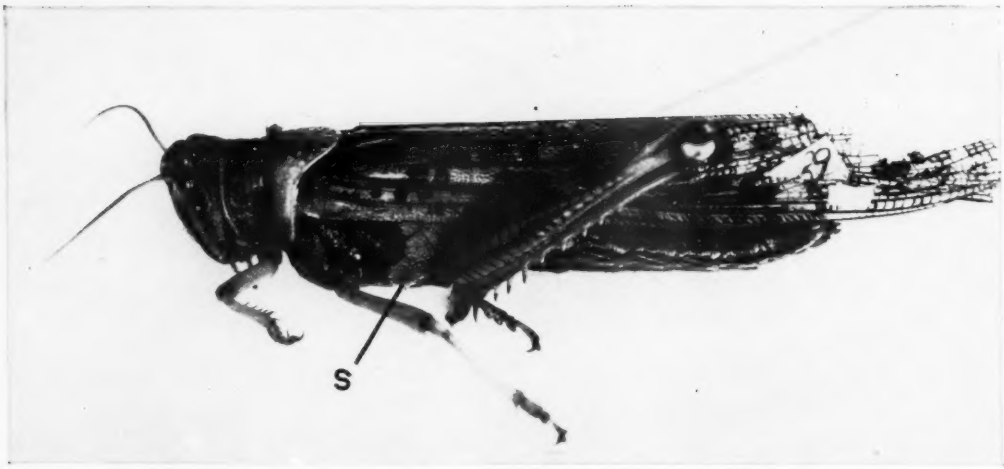


FIGURA 5 – *Langosta adulta* (S. gregaria) *a los dos días de su muerte causada por* A. flavus. *Las hifas han emergido por las membranas articulares de la base de la pata posterior y originado una pústula esporífera* (*S*).

FIGURA 6 – *Superficie dorsal del torax de una langosta adulta enferma con alas extendidas, mostrando la emergencia premortal de hifas de* A. flavus *a través de las membranas articulares de las raíces del ala.* (*W, ala; P, pronoto; F, hongo*).

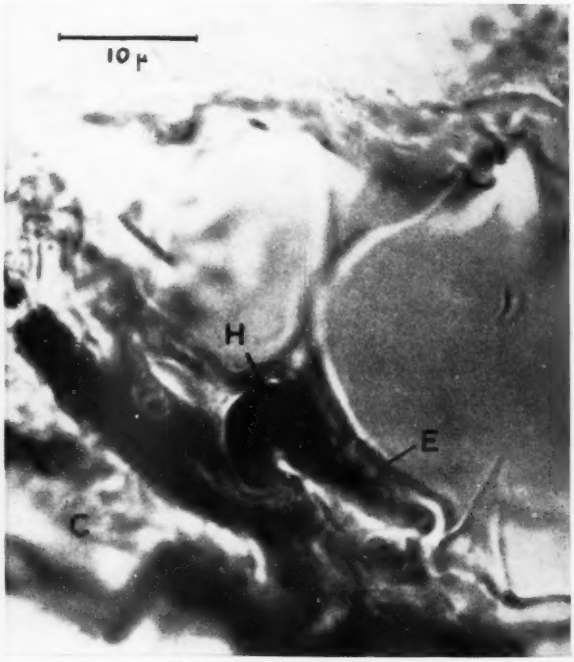


FIGURA 7 – *Sección a través de un pliegue agudo de la membrana articular de la raíz del ala de la misma langosta de la Fig.* 3. *El micelio atraviesa la procutícula quitinosa* (*C*), *pero parece retenido por la delgada epicutícula* (*E*), *que ha tomado la forma de una hifa* (*H*).

A. flavus y del hongo inocuo *A. niger* dentro de larvas de *P. cecropia*, los fagocitos ingieren más esporas del segundo que del primero. Pero las esporas del patógeno tampoco son capaces de germinar allí, lo cual sugiere haya sustancias inhibidoras [1]. Inyectando esporas de *A. luchuensis* en la cavidad del cuerpo de *P. cecropia*, no siempre prosperan debido a que son aisladas por glóbulos sanguíneos y epitelio; esta resistencia se da rara vez con *A. flavus*, hongo de mayor virulencia [5]. De modo análogo, al introducir esporas micoides en orugas de *Galleria mellonella* pueden verse envueltas por células gigantes [10].

COMPORTAMIENTO PREMORTAL DEL HONGO

En tanto vive el insecto atacado, el hongo parásito desarrolla generalmente una vida vegetativa. Pero a veces, como ocurre con *S. uvella* dentro de orugas de Agrostis [9], el hongo inicia la esporulación antes de que el insecto muera. Más chocante es el caso de *M. cicadina*, parásito en *T. septendecim*, en cuyos imagos aún vivientes llega aquél a producir gran cantidad de conidios o esporas resistentes dentro del abdomen. El hongo ataca las membranas intersegmentarias del abdomen de modo que primero caducan los segmentos finales y, así, éstos dejan al aire una pústula de esporas que se diseminan en tanto el moribundo insecto marcha o vuela [14]. Un posible pariente de *M. cicadina* es *Zygaenobia intestinalis*, la cual infecta el epitelio del intestino intermediario de larvas de *Zygaena carniolica* descargando conidios en el intestino para ser diseminados con las heces.

Aparte de una esporulación premortal, puede ocurrir que las hifas del hongo se proyecten afuera del hospedador todavía vivo (Fig. 6). R. Thaxter [15] vio un Geométrido adulto que batía las alas intentando liberarse de una aguja de pino a la cual había sido fijado por rizoides de *Empusa geometralis* crecidos a partir del abdomen.

MUERTE DEL INSECTO

El tiempo que transcurre desde la infección hasta la muerte depende de la clase de hongo e insecto y de las condiciones reinantes; de ordinario supone 2–7 días, a veces más. Es improbable que sea una sola y determinada acción del hongo lo que ocasiona la muerte del insecto, no obstante lo cual diversos investigadores han sugerido acciones letales importantes con respecto a factores particulares, entre ellos la histolisis por sustancias segregadas que se suponen enzimas [2, 8, 9], destrucción de glóbulos sanguíneos [11], producción de toxinas [2], o acciones mecánicas [2]. Sussman [19] cree que *A. flavus* emplea, entre otros, el método mortífero de impedir el funcionamiento de las traqueas y espiráculos del insecto (ninfas de *P. cecropia*), y esto, bien por acción directa o bien destruyendo el sistema nervioso. Se sabe que dicho agente patógeno ataca traqueolas y ganglios.

Sin duda son muchos los factores que pueden contribuir a la muerte del hospedador. El grado de virulencia del hongo y esos factores que provocan a la larga la muerte del insecto deben ser elementos relacionados entre sí. Pero, en todo caso, las acciones del hongo que preceden inmediatamente a la muerte, como todas las que siguen a ésta, deben carecer al respecto de importancia.

COMPORTAMIENTO POSMORTAL DEL HONGO

El comportamiento posmortal del hongo tiene importancia micológica y epidemiológica, pues de dicho comportamiento depende la previsora producción y ulterior diseminación de las esporas. Ya se indicó el caso curioso de ciertos insectos que trepan antes de morir hacia partes elevadas del vegetal, donde a veces el animal queda prendido por las hifas.

Cabe señalar, en esencia, tres fases posmortales que afectan a insecto y hongo. Primera: el hongo, ahora saprofítico, completa la invasión y digestión del insecto cadáver. Segunda: el hongo sale a través del tegumento, el cual persiste después que los tejidos internos han sido consumidos. Tercera: el micelio emergido origina los gérmenes reproductores del hongo. Semejante sucesión de fases tiene lugar cuando reinan condiciones favorables para la diseminación del hongo dentro de una población dada de insectos. Pero, otras veces, el hongo da esporas latentes en vez de esporas infectivas, y, entonces, las esporas pueden quedar retenidas en el interior del cuerpo del hospedador.

El cuerpo de éste se pone flojo y fláccido durante la fase parasitaria de la micosis [1, 9], pero también es frecuente que dicho cuerpo aumente en rigidez después de morir, lo cual puede simplemente ser causado por la presencia del propio hongo [2]. La mayoría de especies de *Cordyceps*, y también la *I. farinosa*, momifican a sus hospedadores convirtiéndolos en esclerocios cubiertos por el persistente tegumento. Sin embargo, otras veces se licúa el interior del insecto fallecido, no siendo posible la esporulación del hongo. En este caso la histólisis es debida a otros organismos,

ante todo bacterias de la propia flora intestinal del insecto [2, 17].

La emergencia del hongo implica perforación de la cutícula quitinosa, acción que de ordinario ya había ocurrido al penetrar el hongo en el hospedador. La perforación suele ser a través de las membranas intersegmentarias [2, 8, 11; Figs. 3 y 5]. El hecho de intervenir hifas aisladas al menos en las fases precoces de la penetración, sugiere haya una quitinasa micoide participando en este proceso (Figs. 4 y 7). A veces el hongo aprovecha otras zonas débiles del tegumento, tales como estigmas, poros de glándulas céreas y puntos de inserción de escamas. Una vez fuera del hospedador, el micelio puede producir más o menos directamente conidióforos, según ocurre en bastantes Entomoftoreos; o bien puede sufrir un nuevo desarrollo fuera de la matriz, hasta formar una capa laxa o compacta sobre la superficie del hospedador. También cabe crezca perpendicularmente a la superficie de éste a modo de mechón de hifas fértiles, o que dé una fructificación compacta, según pasa con *Cordyceps*.

Son esporas producidas fuera del hospedante las que, por lo regular, actúan como propagadoras de la enfermedad. Sin embargo, bastantes hongos, ante todo Ficomicetos, dan también esporas latentes en el interior del insecto. Algunas especies de *Empusa* y *Entomophthora* producen esporas latentes en el micelio externo [13, 15]. Es fácil observar o inferir cómo se dispersan las esporas, pero sólo pueden hacerse conjeturas de lo que ocurra al fin con ellas. Las cadenas de infección de muchas entomomicosis estudiadas en el laboratorio resultaron ser muy sencillas, pero la verdad es que, así sólo representan un aspecto parcial de la cadena que se realiza en estado natural. Sin duda las cadenas de infección naturales son más complicadas, pues incluyen la supervivencia del hongo en períodos adversos, de los cuales, por desgracia, poco se sabe. En relación con esto tiene interés el tiempo que duran vivas las esporas. En Entomoftoreos, los conidios son viables por breve tiempo, por ejemplo los de *E. muscae* pierden su capacidad germinativa a los 3–5 días [4]. En cambio los conidios de *B. bassiana* y *Metarrhizium* son viables durante más de un año [10]. Las esporas latentes no suelen tener especiales adaptaciones para facilitar la diseminación; las de *M. cicadina* constituyen una excepción [14]. En la mayoría de los Entomoftoreos, las esporas quedan dentro del cadáver del hospedador, habiéndose fracasado en muchos intentos de germinación directa [13, 15]. Pero Schweizer [4] halló que las esporas durables de *E. muscae* requieren cierto tratamiento previo para ser germinables. En estado natural esta facultad es adquirida durante el invierno, mientras que en el laboratorio puede ser inducida exponiéndolas a la acción de bacterias quitinófagas del tipo de las que contribuyen a descomponer el esqueleto del hospedador. Gracias a dicha acción, la pared primero quitinosa de la espora, se hincha y pone mucilaginosa y termina por no dar la reacción de la quitina; en este momento es ya capaz de germinar. En cambio, las esporas latentes de *S. uvella* son capaces de germinar inmediatamente después de formadas, sin perjuicio de conservarse no menos de 14 meses en un ambiente seco [9].

DESARROLLO NATURAL SOBRE OTROS SUSTRATOS

Las exigencias nutricias de bastantes hongos entomogénicos son complejas, por lo cual parece improbable que tales hongos puedan hallar en la naturaleza otras condiciones propicias para su desarrollo que no sean las ofrecidas por sus hospedadores normales. *Entomophthora coronata* (≡*Conidiobolus villosus*) es el único hongo de su grupo que se ha visto prosperar sobre un sustrato que no sea el cuerpo de algún insecto. Pero hongos no tan especializados, ej. los *Aspergillus* [2, 8, 20], se sabe viven espontáneamente sobre otros sustratos. Para esos hongos, la vuelta al saprofitismo podría ser un recurso de supervivencia cuando faltan estructuras especialmente resistentes en el ciclo vital. Es opinión extendida que *I. farinosa*, *B. bassiana* y *M. anisopliae* son capaces de sobrevivir en el suelo aunque no se hayan desarrollado en el mismo. J. Huber [7] notó que los dos últimos, como también *C. militaris* y *flavus*, no pueden desarrollarse en el suelo por impedirlo ciertos microorganismos existentes en éste, pero de ello no se sigue forzosamente que tales condiciones se den en todos los suelos. Son necesarios mayores conocimientos sobre la ecología de los hongos entomogénicos que habitan en el suelo [16].

RASGOS FISIOLOGICOS DE LOS HONGOS ENTOMOGENICOS

Aunque la incapacidad para penetrar en el cuerpo del insecto impide que algunos hongos sean patógenos, no es ciertamente éste el único factor, pues *Penicillium* [20] y *Aspergillus niger* [1] no matan ninfas de *P. cecropia* ni siquiera después de inyectadas en éstas. De 20 especies de *Aspergillus* inyectadas en dichas ninfas, sólo seis resultaron

letales y pertenecían más o menos todas al grupo de *A. flavus-oryzae*. Se conocen especies entomogénicas en 11 de los 14 grupos componentes del citado género [20].

Nuestros actuales conocimientos fisiológicos de los hongos entomogénicos no permiten establecer todavía una seria correlación entre su fisiología y su grado de virulencia. En lo que a poder digestivo concierne, se ha demostrado ya con cultivos artificiales la hidrólisis de grasas por parte de *A. flavus*, *B. bassiana*, *C. militaris*, *M. anisopliae* [7], y *E. muscae* [4]. Desarrollan actividad proteolítica *B. bassiana*, *C. militaris* [7], *A. flavus* [2, 7], *A. effusus*, *A. fumigatus* [2], y algunos Entomoftoreos. Acción glicogenásica ha revelado *M. anisopliae* [7]. Producen quitinasa *A. flavus*, *B. bassiana*, *C. militaris*, y *M. anisopliae*, si bien estos mismos hongos prescinden de la digestión de quitinas con tal de que abunden otras sustancias carbonadas y nitrogenadas mejor aprovechables [7]. Es claro que los datos conocidos se refieren sólo a una reducida fracción de las especies entomogénicas, pero en ella figuran algunas muy propagadas, quizás las más destructivas para las poblaciones de insectos. Así pues, conocemos la existencia en hongos entomogénicos de quitinasa, lipasa, proteasa y glicogenasa extracelulares (inferido de sus respectivas acciones sobre los sustratos); estas acciones guardan indudable correlación con la grosera composición del insecto como sustrato nutritivo.

En especies de *Aspergillus* no parece existir relación entre la producción cuantitativa de proteasa y la virulencia [2]. Huber [7] ha demostrado que hay diferencias cuantitativas entre las respectivas capacidades para descomponer grasas, glucógeno, proteínas y urea en los hongos *A. flavus*, *B. bassiana*, *C. militaris* y *M. anisopliae*, pero tales diferencias no guardan paralelismo con los respectivos grados de patogenia. Dicho autor cree que la digestión de quitina por estirpes aisladas de *A. flavus* y *M. anisopliae* era mayor que en las de *B. bassiana* y *C. militaris* debido sólo al tiempo más reducido que los dos primeros llevaban sometidos a cultivo artificial. Reiteradamente se ha visto que la virulencia de los hongos entomogénicos decae al cabo de prolongado cultivo artificial, sin que falten excepciones. Por contrapartida, es posible aumentar la virulencia de *A. flavus* en langostas, haciéndolo pasar sucesivamente por distintos hospedadores susceptibles [8]. En este caso sí pudiera llegarse a probar que los cambios de virulencia se correlacionan con los cambios de potencia digestiva.

Los hongos entomogénicos denotan muy variables grados de especificidad respecto a sus hospedantes. El hecho de ser tan comunes *Beauveria* spp., *M. anisopliae* y *Aspergillus* spp., se explica por su falta de especificidad pues infectan muchas clases de insectos. Fisiológicamente son más interesantes otros hongos altamente específicos para el hospedante. D. M. MacLeod [21] ha demostrado que hongos dotados de simples necesidades nutricias, tales como *B. bassiana*, *I. farinosa*, y *M. anisopliae*, se asocian con muy variables especies de insectos; en tanto que otros más exigentes, como ciertas especies de *Spicaria* e *Hirsutella*, parecen circunscribirse cada cual sólo a una especie hospedante. Huber [7] vio que *Pericystis apis*, con necesidades alimenticias muy especializadas, parasitiza un solo hospedante, que es la abeja; en este caso, las necesidades del hongo se satisfacen precisamente con un preparado de leche desnatada o extracto de levadura. Ni en ésta ni en bastantes otras especies, dicho autor pudo hallar correlación entre la capacidad para beneficiarse de distintos carbohidratos y la especificidad respecto al hospedante. Entre los Ficomicetos entomogénicos, *Entomophthora apiculata* demuestra tener simples necesidades nutritivas, al menos durante su desarrollo vegetativo [22] y se encuentra en insectos de tres órdenes diferentes [15]. En cambio *E. muscae*, que exige para su normal y completo desarrollo en cultivos artificiales la presencia de ciertas sustancias termolábiles además de grasa [4], sólo se ha encontrado en algunos Dípteros.

Es improbable que la especificidad respecto al hospedante dependa sólo de factores nutricios, pues tales factores únicamente pueden operar una vez que el hongo haya traspasado el tegumento del insecto. Un nuevo tipo de factor parece resultar del descubrimiento de Koidsumi, conforme al cual existen en la cutícula del insecto lípidos antifúngicos [6]. Determinadas combinaciones de insecto y hongo deben originarse según diferentes contenidos de sustancias antifúngicas en las cutículas del insecto, y según las diferencias de sensibilidad frente a tales sustancias por parte de los hongos. Otro posible factor pudiera ser el variable grado de susceptibilidad frente a las defensas fagocitarias y humorales de la sangre del hospedante. Y también puede ser importante la probabilidad de encuentro o contacto físico entre hongo e insecto. Así, créese que la rareza de la micosis en los Cerambícidos pudiera explicarse por el aislamiento en que transcurre la metamorfosis de estos insectos, cuyas

larvas habitan en el interior de la madera de la planta que parasitizan [23].

Es probable que el mismo tipo de factores que controlan la especificidad respecto al hospedador influyan también en los variables grados de susceptibilidad observados a lo largo de los diferentes estadios de desarrollo del insecto. Las distintas fases de desarrollo de éste (desde el huevo al imago) difieren mucho en morfología, comportamiento y fisiología, de modo que los cambios ocurridos pueden en un momento dado crear condiciones especialmente propicias para un determinado agente patógeno.

ASPECTOS ECONOMICOS

Muchos han sido los ensayos verificados para destruir plagas de insectos mediante hongos entomogénicos, pero relativamente pocos han tenido pleno éxito [24]. No obstante, la validez del método quedó patentizada por el control logrado respecto a dos plagas del manzano en Nueva Escocia durante los años siguientes a 1920, cuando se practicó allí la diseminación artificial de especies de *Empusa* y *Entomophthora*. Los porqués de los fracasos — cuando son sabidos — fueron diversos, señalándose ante todo el mal planteamiento de factores y principios por parte de los técnicos. El verdadero éxito de un control biológico implica la fijación de una epidemia en la población combatida. Y, como la mortalidad causada depende de la densidad de población, no es previsible el éxito a menos que la población del insecto esté distribuida con moderada densidad. También es, en general, necesario un clima húmedo. Fueron asimismo bastantes los técnicos que no supieron distinguir entre el uso de hongos como insecticida para la destrucción rápida de poblaciones, y uso de hongos como factor biológico a larga fecha para mantener la población del insecto a bajo nivel [25]. Es virtualmente imposible hacer desaparecer toda una población mediante el control biológico, y esto quizá explica por qué bastantes de los primeros ensayos fueron abandonados y sustituídos con el empleo de insecticidas químicos. En todo caso, para rebajar el nivel de población de un insecto, es condición indispensable que el hongo persista como factor de control. Por tanto, siempre que se pruebe que éste continúa activo en poblaciones suficientemente ralas para ser toleradas económicamente, queda justificado el empleo del hongo. Por tanto, el futuro control con agentes microbianos logrará probablemente éxito justo en aquellos cultivos en que sea permitido soportar un pequeño daño causado por el organismo-plaga [25].

Cierto es que el control de insectos mediante hongos implica limitaciones [24], pero en cambio no faltan ventajas, entre ellas la especificidad de acción y un alto grado de permanencia. Otra ventaja es la ausencia de residuos tóxicos, lo cual hace este procedimiento especialmente atractivo.

En estado natural los hongos entomogénicos mantienen un alto grado de control sobre diferentes plagas de insectos, sobre todo en climas cálidos y húmedos. Es preciso tener en cuenta este hecho para evitar el uso inadecuado de productos fungicidas. Se conocen bastantes casos de poblaciones de insectos que aumentaron después de la aplicación de fungicidas, ejemplo el de los naranjales de Florida, donde se habían combatido ciertos hongos que merman la cosecha.

Los hongos entomogénicos son también económicamente importantes, debido al perjuicio que causan en insectos útiles. Constituyen por ejemplo una amenaza para abejas y gusanos de seda.

REFERENCIAS

[1] SUSSMAN, A. S. *Ann. ent. Soc. Amer.*, **45**, 233, 1952.
[2] BURNSIDE, C. E. *Tech. Bull. U.S. Dep. Agric.*, No. 149, 1930.
[3] LEFÈBVRE, C. L. *Ann. Bot., Lond.*, **48**, 441, 1934.
[4] SCHWEIZER, G. *Planta*, **35**, 132, 1947.
[5] SUSSMAN, A. S. *Mycologia*, **43**, 338, 1951.
[6] KOIDSUMI, K. *J. Insect Physiol.*, **1**, 40, 1957.
[7] HUBER, J. *Arch. Mikrobiol.*, **29**, 257, 1958.
[8] LEPESME, P. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N.*, **29**, 372, 1938.
[9] SPEARE, A. T. *J. agric. Res.*, **18**, 399, 1920.
[10] BOCZKOWSKA, M. *C.R. Soc. Biol., Paris*, **119**, 39, 1935.
[11] SCHAERFFENBERG, B. *Z. angew. Ent.*, **44**, 262, 1959.
[12] SPEARE, A. T. *Bull. U.S. Dept. Agric., No.* 1117, 1922.
[13] MACLEOD, D. M. *Canad. J. Bot.*, **34**, 16, 1956.
[14] SPEARE, A. T. *Mycologia*, **13**, 72, 1921.
[15] THAXTER, R. *Mem. Boston Soc. nat. Hist.*, **4**, 133, 1888.
[16] BÜNZLI, G. H. y BÜTTIKER, W. W. *Bull. ent. Res.*, **50**, 89, 1959.
[17] DRESNER, E. *Contr. Boyce Thompson Inst.*, **15**, 319, 1949.
[18] SUSSMAN, A. S. *Ann. ent. Soc. Amer.*, **45**, 638, 1952.
[19] *Idem. Mycologia*, **44**, 493, 1952.
[20] *Idem. Ibid.*, **43**, 423, 1951.
[21] MACLEOD, D. M. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **60**, 58, 1954.
[22] WOLF, F. T. *Bull. Torrey bot. Cl.*, **78**, 211, 1951.
[23] GARDINER, L. M. y MACLEOD, D. M. *Canad. Ent.*, **91**, 62, 1959.
[24] BAIRD, R. B. *Proc. X Int. Congr. Ent.* (1956), **4**, 689, 1958.
[25] BUCHER, G. E. *Ibid.*, **4**, 695, 1958.

Refinamiento zonal

E. F. G. HERINGTON

El refinamiento zonal es un proceso en el que una barra de material se purifica por calentamiento, permitiendo así que una zona de material fundido se desplace en toda su longitud. Originariamente se aplicó a la preparación de germanio para transistores. Posteriormente esta técnica, que en ciertas aplicaciones presenta notables ventajas sobre la destilación y la cromatografía para la producción de sustancias puras, ha sido aplicada a una amplia variedad de éstas. En este artículo se describe la teoría del refinamiento zonal, los aparatos empleados y algunas de sus aplicaciones.

La técnica moderna de refinamiento zonal data del descubrimiento por W. G. Pfann, en 1952 [1], del efecto del paso de una varilla de germanio a través de un horno corto, de forma que una zona fundida se desplace a lo largo de la varilla (Fig. 1). Encontró que las impurezas tienden a ser arrastradas con la zona fundida; repitiendo el proceso una serie de veces se alcanza un alto

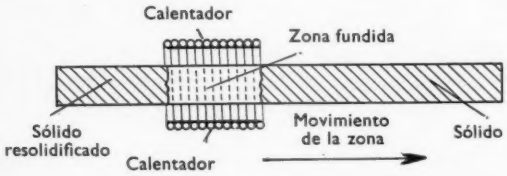


FIGURA 1 – *Esquema de un experimento de refinamiento zonal.*

grado de purificación: en algunos experimentos la concentración de impurezas en gran parte de la varilla se redujo a una parte en 10^9. La técnica, originalmente desarrollada para la fabricación de transistores, ha sido empleada desde entonces con gran número de metales y con compuestos orgánicos e inorgánicos. Este artículo estudia la teoría básica del proceso y algunas de sus aplicaciones.

PRINCIPIOS DEL REFINAMIENTO ZONAL

Cuando se enfría una mezcla líquida, el sólido que cristaliza tiene corrientemente una composición diferente de la del líquido: la purificación de sustancias por refinamiento zonal depende de este cambio. Un estudio de dos tipos simples de equilibrio sólido-líquido muestra algunas de las condiciones que aparecen durante los experimentos de refinamiento zonal. En un sistema cuyo diagrama de fases es del tipo que aparece en la Fig. 2, el enfriamiento del líquido de composición J causará la cristalización del componente puro A cuando se alcance la temperatura correspondiente al punto L. Si, por el contrario, la composición original corresponde al punto J_1, el primer sólido que se separará será componente B.

El comportamiento de una mezcla que forma una serie de soluciones sólidas puede verse en la Fig. 5. Aquí, el sólido de composición N se separa cuando el líquido de la composición J se enfría. Este sólido es más rico en componente A que el líquido del que proviene, pero todavía contiene componente B: si la composición original corresponde, por el contrario, al punto J_1, entonces el sólido primeramente depositado tendrá una composición N_1. El sólido es así más rico en componente A que el líquido del que ha sido depositado, cualquiera que sea la composición inicial del líquido.

Al discutir la fusión zonal de las mezclas con diagramas fásicos como el de la Fig. 5, es conveniente definir un «coeficiente ideal de distribución»

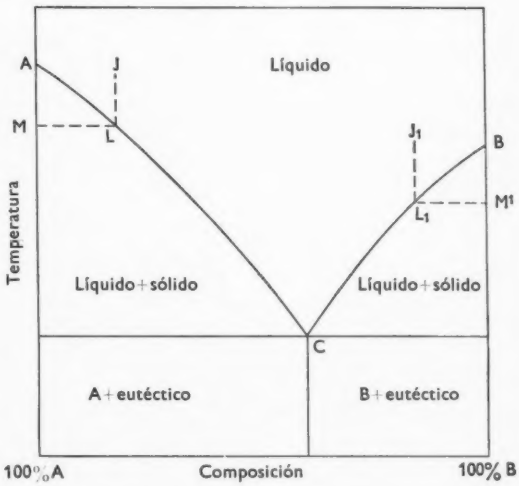


FIGURA 2 – *Diagrama de fases para un sistema con un eutéctico simple.*

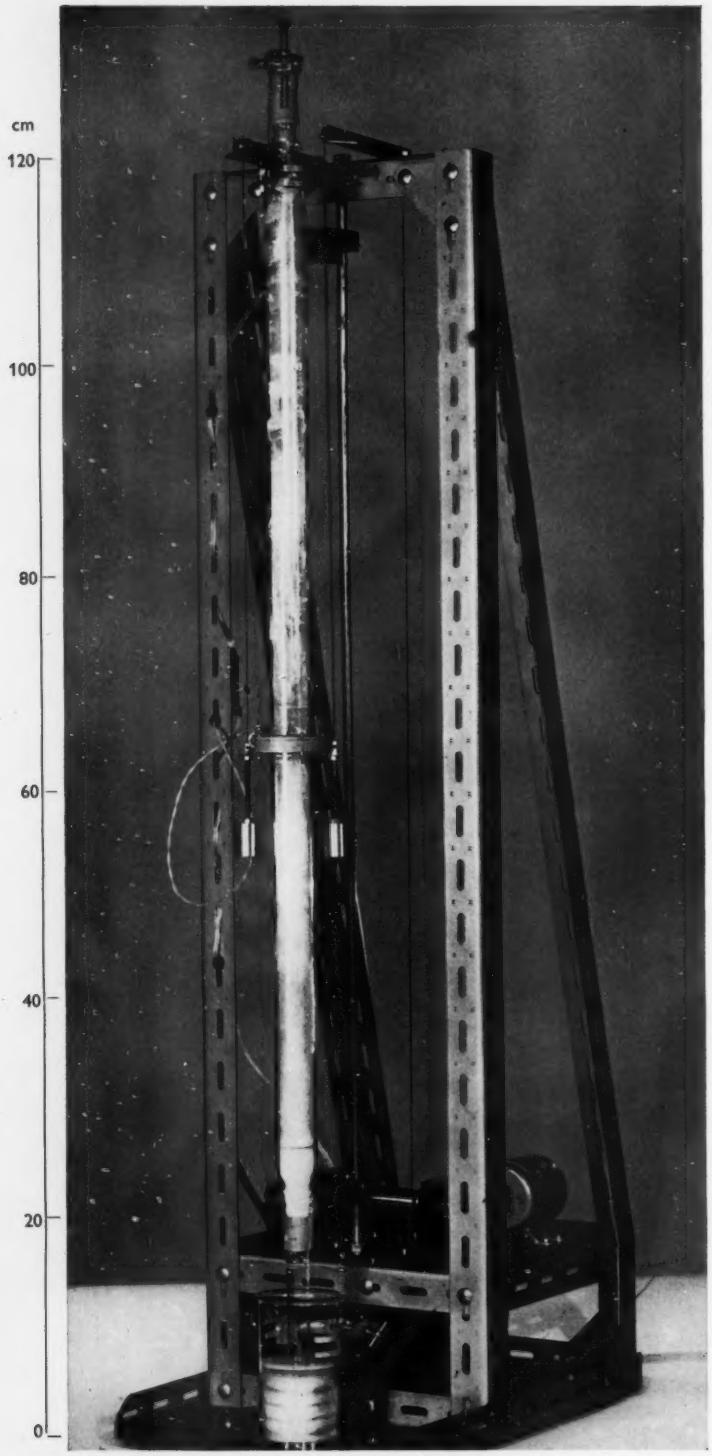


FIGURA 3 – *Aparato para la purificación de compuestos orgánicos. Puede advertirse la estrecha línea negra de impureza insoluble cerca del fondo. (Reservada la reproducción.)*

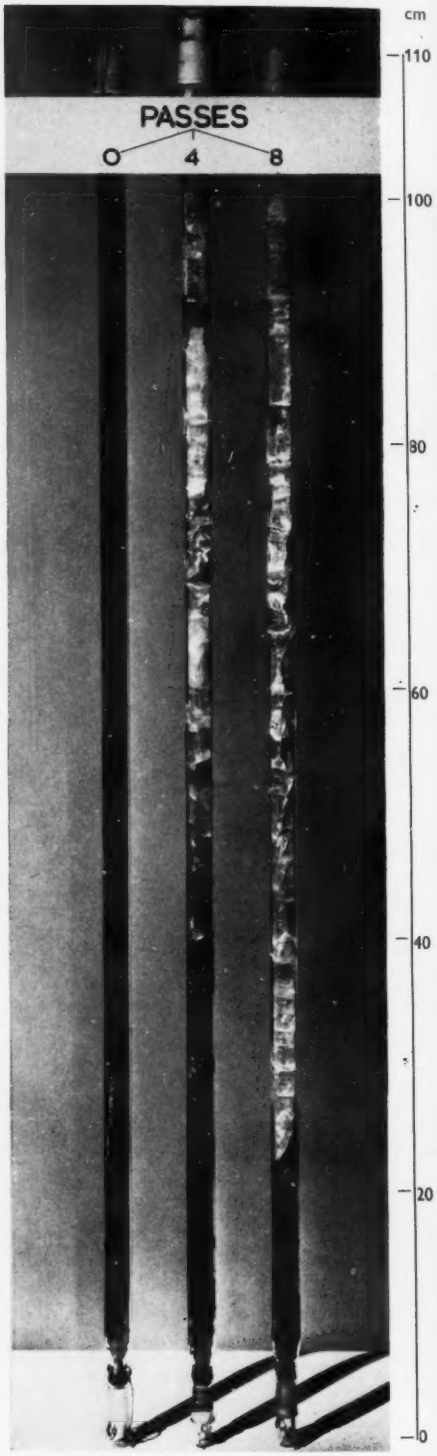


FIGURA 4 – *El tubo de la izquierda se ha llenado de una solución de 0,03% de indulina en naftalina. El tubo central y el de la derecha se obtuvieron después de cuatro y ocho operaciones respectivamente. (Reservada la reproducción.)*

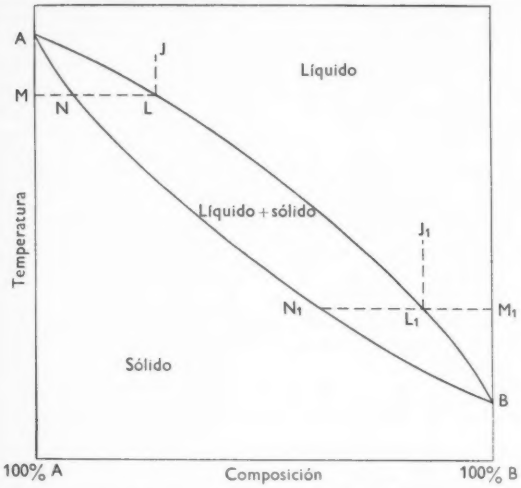


FIGURA 5 – *Diagrama de fases para un sistema con una serie de soluciones sólidas.*

(k_1) como la razón del porcentaje de impureza en el sólido que está cristalizando respecto a la del líquido con el que está en equilibrio. Cuando la composición original es J, $k_1 = MN/ML$; cuando la composición original es J_1, $k_1 = M_1N_1/M_1L_1$. El valor de k_1 es, pues, menor que uno para la composición J y mayor que uno para la composición J_1. La misma definición de k_1 puede adoptarse para sistemas representados por la Fig. 2, si N es considerado como coincidiendo con M en aquella figura. En tales sistemas $k_1 = 0$ para líquidos de composición J y también para los de composición J_1.

Se emplea normalmente refinamiento zonal en material que tiene ya una gran pureza, y por eso la teoría se refiere a puntos en el diagrama fásico cerca del eje derecho o del izquierdo. Así en las Figs. 2 y 5 J debe considerarse que representa soluciones que contienen la impureza B en el componente A, mientras J_1 representará soluciones conteniendo una pequeña cantidad de A en B. De estas figuras, y de un estudio de sistemas de otros tipos, resulta la importante generalización de que k_1 es menor que la unidad cuando la impureza disminuye el punto de fusión del componente principal y mayor que la unidad cuando se eleva. Si la presencia de impurezas no tiene ningún efecto en el punto de fusión del componente principal, entonces k_1 es la unidad y no hay posibilidad ninguna de separar los componentes por refinamiento zonal. En el punto eutéctico C (Fig. 2) k_1 es la unidad: el eutéctico se congela sin cambio de composición.

En la práctica, el sólido y el líquido nunca alcanzan equilibrio; es el «coeficiente efectivo de distribución» (k) el que es importante. Este es el cociente real de la concentración de impureza en el sólido que se ha depositado durante un experimento de refinamiento zonal a su concentración en el líquido. Tiene un valor generalmente entre k_1 y la unidad y se acerca, naturalmente, a k_1 a medida que disminuye la velocidad del movimiento de la zona. Las substancias que han de ser refinadas contienen frecuentemente varias impurezas, pero cuando sólo hay trazas de estas impurezas ocurre muy poca interacción entre sus moléculas. De aquí que generalmente es posible considerar un coeficiente de distribución efectiva separadamente para cada impureza.

La teoría muestra que mientras la destilación no puede alcanzar un 100% de producto puro, el refinamiento zonal puede dar tal producto si la mezcla tiene un diagrama de fases del tipo mostrado en la Fig. 2. El refinamiento zonal es corrientemente más efectivo que la destilación en sustancias ya razonablemente purificadas. Es decir, 99%: sin embargo, si la composición del material de origen está cerca de la mezcla eutéctica, la destilación puede ser más útil. La destilación tiene la ventaja de que se puede tratar toneladas de material en un proceso continuo, mientras que con las técnicas actuales de refinamiento zonal se puede tratar solamente algunos kilos cada vez. Otras técnicas, tales como la cromatografía de gas, de líquido o de cambio de iones, no pueden producir materiales absolutamente puros, pero pueden usarse en mezclas muy impuras, y son, naturalmente, muy útiles para substancias orgánicas termoinestables, aunque en general, es difícil manejar grandes cantidades de material con estos métodos.

EL PROCESO DE PURIFICACION

Una substancia del tipo representado en la Fig. 2 puede, en teoría, ser purificada por un solo recorrido de la zona; si la composición inicial se representa por J, el componente puro A cristalizaría desde la parte de atrás de la zona móvil. Este proceso continuaría hasta que la parte remanente de la varilla tenga la composición eutéctica. En la práctica, sin embargo, parte del líquido que contiene alguna de las impurezas es atrapado en los cristales que se están formando. La repetición de la operación da, sin embargo, una mayor pureza, que resulta en la formación de cristales mayores; son atrapadas menos impurezas y la purificación se hace mucho más

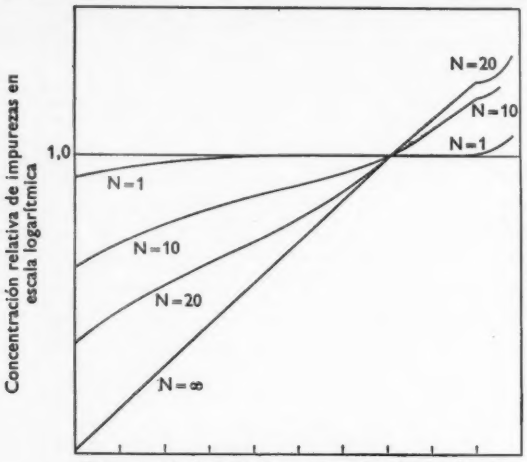


FIGURA 6 – *Concentración relativa de impurezas a lo largo de la barra cuando k es menor que* 1.

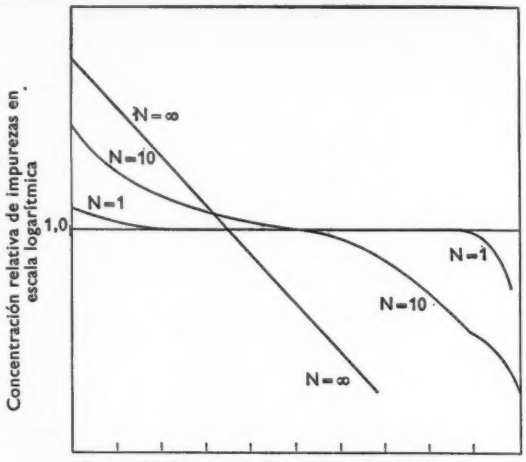


FIGURA 7 – *Concentración relativa de impurezas a lo largo de una barra cuando k es mayor que* 1.

rápida. La Fig. 6 muestra la distribución de impurezas obtenida después de pasar 1, 10, 20 y un infinito número de zonas a través de una varilla inicial uniforme de una concentración relativa de impureza 1,0, donde k es una constante con un valor entre 0 y 1. La figura muestra que ninguna parte de la varilla puede ser liberada completamente de impurezas cuando k tiene tal valor. Sin embargo, la teoría muestra que cuanto más cerca está k de la unidad, mayor es la concentración última de impureza en la primera parte de la barra y mayor el número de operaciones necesarias para alcanzar esta distribución última.

Utilizando el refinamiento zonal es posible separar virtualmente muestras puras de cada uno de los componentes de una mezcla del tipo representado en la Fig. 5; la barra tendrá puro componente A en un extremo y puro componente B en el otro. Para las sustancias representadas por el punto J_1, esto es, donde k es mayor que 1, serán necesarias un gran número de operaciones, pues la impureza A se mueve en dirección opuesta a la zona y ninguna molécula de ella puede moverse más de una longitud de zona durante una sola operación. La Fig. 7 muestra la distribución de impurezas que puede obtenerse después de un diferente número (N) de operaciones para tal sistema. Un material que contenga algunas impurezas con un valor k mayor de 1 y otras menor puede resultar en una barra en la que la parte media es la más pura.

CONSIDERACIONES PRACTICAS

La máxima separación bajo una serie dada de condiciones se obtendría con un infinito número de operaciones, pero desde un punto de vista práctico es claramente importante conocer el menor número con el que conseguirá una separación adecuada. El uso de una zona estrecha dará un alto grado de pureza; una zona ancha producirá resultados más rápidos. En la práctica, sin embargo, una zona ancha suele emplearse frecuentemente en las etapas primeras, que son seguidas por el uso de una zona cuya longitud es una décima parte de la barra. Los cálculos muestran [2] que si k está entre 0,1 y 0,5, 20 operaciones producirán casi la máxima purificación posible por este método; si está cerca de 1, serán necesarios cientos de operaciones.

La velocidad de movimiento de la zona está limitada ya que la excesiva rapidez de movimiento englobará impurezas en la sustancia que está cristalizando. Una velocidad suficientemente lenta para establecer el equilibrio sería, sin embargo, normalmente demasiado lenta para uso general. Se ha comprobado que para metales pueden utilizarse velocidades mayores — alrededor de 15 cm/h — que para compuestos orgánicos donde las velocidades de 2,5–4,0 cm/h son más corrientes. La purificación de sustancias orgánicas de peso molecular elevado requiere aún velocidades menores. El proceso puede a veces acelerarse moviendo un grupo de unidades calefactoras y refrigeradoras a lo largo de la barra, para lograr simultaneamente el efecto de un número de operaciones.

La zona líquida debe ser homogénea para activar al máximo la separación, y aunque por

difusión se puede conseguir una mezcla suficiente, puede ser necesaria una agitación adicional. El diseño correcto del aparato favorecerá frecuentemente la mezcla por convección, y si es posible conseguir que el calentador se mueva hacia abajo a lo largo de un tubo vertical, se pueden lograr normalmente fuertes corrientes de convección haciendo que el fondo de la zona esté más caliente que la parte alta. El empleo de un tubo vertical tiene además la ventaja de que una impureza insoluble puede caer al fondo (Fig. 3). Sin embargo, es importante tener en cuenta los resultados físicos de la fusión; así, si el sólido se dilata al fundirse, la zona debe comenzar desde lo alto del tubo para evitar la rotura del aparato.

APARATOS

Se emplea generalmente calor radiante. Pueden obtenerse temperaturas superiores a 3500° por concentración de la energía solar, y temperaturas superiores a 2000° mediante calentadores eléctricos. La Fig. 3 muestra un aparato automático completo apropiado para conseguir coladas superiores a 1 kg de compuestos orgánicos [3]. El calentador, que consiste en una pequeña bobina con un reflector de acero inoxidable, es sostenido por dos cuerdas y desciende a una velocidad controlada. Cuando el calentador alcanza el fondo del tubo acciona un interruptor que controla un motor eléctrico y un embrague que juntos reenvían el calentador al extremo del tubo, donde otro interruptor es accionado y el calentador baja otra vez. Un aparato semejante puede obtenerse comercialmente. Algunos resultados obtenidos por el tratamiento de una mezcla de 0,03% de tinte azul de indulina en naftalina [4] pueden verse en la Fig. 4. El tubo de la izquierda muestra el material original y los otros tubos muestran la separación obtenida después de cuatro y ocho operaciones respectivamente.

Puede usarse el calor radiante para el refinamiento zonal de compuestos con punto de fusión bajo si el aparato se coloca en un lugar refrigerado. También puede colocarse la muestra en un espacio anular con un calentador radiante en el centro, y todo el aparato puede estar rodeado de líquido refrigerante contenido en un recipiente Dewar [5].

La Fig. 8 nos muestra un aparato capaz de refinar muestras de materia orgánica cuyo peso esté comprendido entre 0,1 y 10 gramos. En este caso la energía de una lámpara de proyección (L) situada en uno de los focos de un espejo elíptico (MM_1) se concentra en la muestra en el otro foco [6]. La muestra está contenida en un tubo pequeño, movido hacia arriba por el motor eléctrico (E). Un filtro luminoso adecuado (F) puede emplearse para proteger la muestra de los efectos de una luz intensa. Se puede obtener en el comercio un aparato modificado que permita que la zona sea producida por la energía radiante de una resistencia de alambre enrollada alrededor del tubo. Las muestras que pesan pocos miligramos no pueden ser tratadas en tubos cerrados porque quedan englobadas burbujas de aire, pero G. Hesse y H. Schildknecht [7] han superado estas dificultades colocando la muestra en una cavidad a lo largo del lado de un tubo de vidrio.

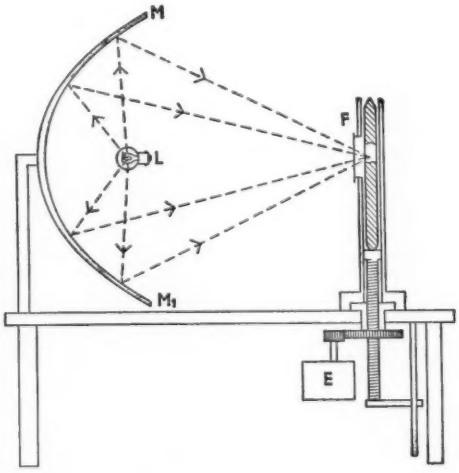


FIGURA 8 – *Aparato semiminiatura de refinamiento zonal.*

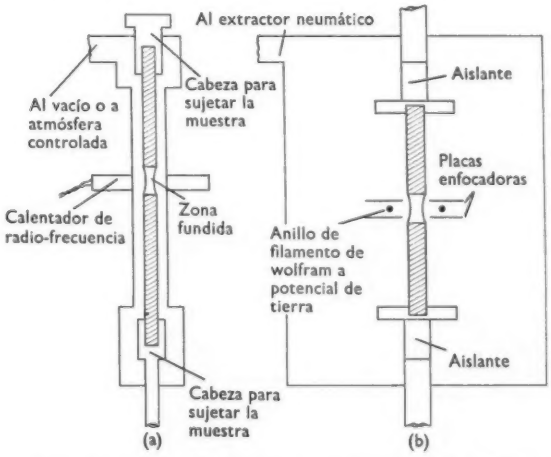


FIGURA 9 – (a) *Refinamiento por zona flotante utilizando calentamiento por radiofrecuencia.* (b) *Refinamiento por zona flotante utilizando calentamiento por bombardeo electrónico.*

La técnica de la zona flotante es muy usada para tratar sustancias de punto de fusión alto, tales como el silicio. La Fig. 9 muestra dos aplicaciones de esta técnica, ideada para evitar la contaminación de la muestra por el recipiente. La varilla de material es fijada en cada extremo; la zona es sostenida por la tensión superficial y, a veces, por fuerzas adicionales como las producidas por campos electromagnéticos. La Fig. 9(*a*) muestra el uso de calor de inducción, y la figura 9(*b*) describe el aparato en el que se emplea bombardeo con electrones para fundir la zona [8]. La purificación es ayudada con frecuencia por la volatilización de la impureza en un aparato como el que se muestra en la figura 9(*b*). Cuando no hay ningún riesgo de contaminación de la muestra por el recipiente, los materiales de gran tensión superficial son a menudo refinados en recipientes horizontales finos y largos calentados por energía radiante o por gas.

APLICACIONES

La purificación por refinamiento zonal es una valiosa operación preliminar para la preparación de monocristales. El conocimiento de que muchas propiedades de los materiales, particularmente las propiedades eléctricas, pueden ser modificadas grandemente por pequeñas cantidades de impurezas ha llevado al estudio de la fusión zonal de un gran número de elementos. A veces se encontró que una impureza tiene un coeficiente de distribución efectivo demasiado cerca de la unidad para que el refinamiento zonal fuese eficaz: aún entonces puede ser posible efectuar la purificación mediante el uso de un compuesto adecuado que contenga el elemento. Por ejemplo, se ha visto [9, 10] que el tricloruro de galio y el triyoduro de indio pueden usarse para la purificación del galio y del indio.

Se han empleado trazadores radiactivos para seguir el resultado del refinamiento zonal. Los isótopos ^{22}Na, ^{90}Sr, ^{35}S y ^{32}P se han usado para mostrar que los iones Na^+, Sr^{2+}, SO_4^{2-}, y PO_4^{3-} pueden ser eliminados del nitrato de potasio. Si la sal tiene un punto de fusión demasiado alto o sufre una descomposición al fundirse es a veces ventajoso refinar un eutéctico, tal como el formado por la sal con agua [11].

El agua ha sido purificada por refinamiento zonal y se ha dicho [12] que alrededor del 99,9% del cloruro sódico puede ser eliminado con una sola operación de una solución que contenga 20 g por litro. Incluso los coloides se han eliminado de la solución; por ejemplo, se ha observado que el oro coloidal tiende a concentrarse en la última zona congelada [11]. Se han hecho intentos para separar los componentes de las mezclas de isótopos. En tales sistemas, *k* puede tener un valor tan próximo a la unidad como 1,001; sin embargo, partiendo de agua con 1,96% de deuterio se obtuvo una concentración de 2,01% en la parte delantera de la barra después de 40 operaciones [11].

Se han tratado muchos compuestos orgánicos; por ejemplo, el ácido benzoico de elevado grado purificado por 18 operaciones se obtiene ahora como patrón volumétrico. El dioxano se ha purificado para usos espectroscópicos y el antraceno, estilbeno y terfenil se han refinado para obtener material para la preparación de monocristales para uso en contadores de centelleo. La posibilidad de trabajar con pequeñas cantidades ha facilitado la purificación de sustancias biológicas; por ejemplo, se ha obtenido la separación de una cera producida por las orugas [7].

REFERENCIAS

[1] PFANN, W. G. *Trans. Amer. Inst. mech. Engrs*, **194**, 747, 861, 1952.

[2] *Idem*, «Zone Melting», John Wiley & Sons Inc., Nueva York. 1958.

[3] HERINGTON, E. F. G., HANDLEY, R. y COOK, A. J. *Chem. & Ind.*, 292, 1956.

[4] *Mfg. Chem.*, 470, 1954.

[5] RÖCK, H. *Naturwissenschaften*, **43**, 81, 1956.

[6] HANDLEY, R. y HERINGTON, E. F. G. *Chem. & Ind.*, 304, 1956; *ibid.*, 1184, 1957.

[7] HESSE, G. y SCHILDKNECHT, H. *Angew. Chem.*, **68**, 641, 1956.

[8] CALVERLEY, A., DAVIS, M. y LEVER, R. F. *J. sci. Inst.*, **34**, 142, 1957. Solicitud de patente británica No. 36417/55. BIRBECK, F. F. y CALVERLEY, A. *J. sci. Inst.*, **36**, 460, 1959.

[9] RICHARDS, J. L. *Nature, Lond.*, **177**, 182, 1956.

[10] «Report of the National Chemical Laboratory, 1958», pág. 19. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1959.

[11] SÜE, P., PAULY, J. y NOUAILLE, A. *Bull. Soc. chim. Fr.*, 593, 1958.

[12] HIMES, R. C., MILLER, S. E. y GOERING, H. L. 133ª Asamblea de la American Chemical Society, 1958. Resumen, Informe No. 14, Secc. 5S.

Los indicadores radiactivos en la atmósfera

N. G. STEWART

Muchas controversias han suscitado las consecuencias posibles de liberar en la atmósfera los productos de explosiones termonucleares, pero para el meteorólogo, al menos, esos productos radiactivos significan un método nuevo para investigar la circulación atmosférica. Aunque sólo ha comenzado su aplicación, ya se han logrado datos muy interesantes que indican sus grandes posibilidades. Se describen aquí los resultados obtenidos y su relación con las teorías actuales sobre la circulación atmosférica.

La atmósfera se divide en dos regiones principales: la atmósfera inferior o troposfera, y la estratosfera, separadas por una divisoria, la tropopausa, que se halla, por definición, a la altura donde el gradiente de temperatura pasa de su valor negativo en la troposfera, a cero o a un valor positivo en la estratosfera. La tropopausa no es continua: en el

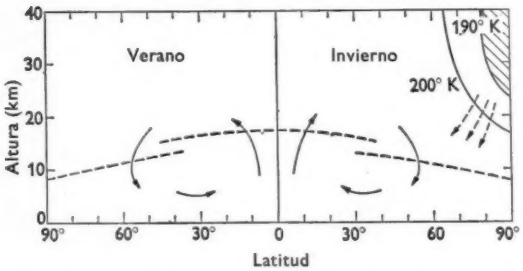


FIGURA 1 – *Modelo de circulación atmosférica, según Dobson y Brewer, mostrando la masa fría de aire sobre el polo invernal. Las líneas de trazos representan la tropopausa y las flechas indican el sentido del desplazamiento medio del aire.*

ecuador está a unos 17 km, pero a las latitudes 30° N y 30° S, aproximadamente, hay un cambio brusco a unos 12 km (Fig. 1). Tal discontinuidad está relacionada a menudo con la corriente en chorro (*jet stream*), una corriente muy fuerte de aire, de oeste a este. La estratosfera carece virtualmente de nubes y torbellinos; cualquier gas o polvillo que penetre en ella se extiende con lentitud, en contraste con la dispersión relativamente rápida que ocurre en la troposfera.

Hace más de cincuenta años se realizaron las primeras medidas de la radiactividad atmosférica, y entre 1903 y 1908 se publicaron varios trabajos acerca del contenido de radón en el aire. El tema quedó sin tratar hasta 1951, cuando los ensayos de armas nucleares abrieron la posibilidad de utilizar las «nubes radiactivas» para la investigación meteorológica en escala mundial. Al principio se usaron las nubes para confirmar los procedimientos clásicos para seguir y predecir los movimientos de las masas de aire en la atmósfera inferior, pero las explosiones termonucleares (que lanzan nubes hasta el interior de la estratosfera) facilitaron la interesante posibilidad de estudiar la circulación general de la atmósfera. También se han usado otros elementos radiactivos tales como los isótopos radiactivos naturales, creados en la atmósfera por la radiación cósmica y los descendientes más duraderos del radón.

EL POLVILLO PROCEDENTE DE LAS EXPLOSIONES NUCLEARES

En cada tipo de explosión nuclear, una porción importante de la radiactividad producida está contenida en finas partículas de polvo cuya velocidad de caída es pequeña, y que pueden quedar suspendidas en el aire mucho tiempo. Las partículas son casi en su totalidad, sílice, carbonato cálcico u óxidos metálicos; pero todos los tipos arrastran pequeñas cantidades de los 70 y pico productos de fisión originados en el estallido. Los períodos de los productos individuales varían desde fracciones de segundo hasta varios años, de forma que la radiactividad de una muestra compleja disminuye con el tiempo (t), como $t^{-1.2}$, aproximadamente.

Entre 1951 y 1954, simples medidas de radiactividad en la troposfera revelaron importantes diferencias entre el comportamiento de nubes resultantes de las explosiones de pequeñas bombas «nominales» y de las de grandes artefactos termonucleares [1]. Se observó que el polvo de las primeras permanecía en la baja atmósfera, de la que era eliminado por la lluvia en dos o tres meses. El polvo de las explosiones termonucleares penetraba en la estratosfera y descendía muy lentamente, de modo que la contaminación de la troposfera se mantenía durante un período que podía ascender a varios años. El elevado contenido

de productos de fisión de la estratosfera unos seis meses después de las explosiones de 1954 aparece ilustrado en la Fig. 2, que es típica de una serie obtenida mediante muestreo del aire en el Reino Unido con filtros acoplados a aviones. La concentración crece rápidamente a alturas superiores a 12 000 m, que es la altura media de la troposfera en dicha región.

A partir de 1954 se hicieron más frecuentes los ensayos en gran escala. La estratosfera almacenaba temporalmente productos de escisión de varias procedencias y resultó imposible interpretar medidas aisladas de radiactividad total. Se dirigió la atención sobre el estroncio-90 y el cesio-137, ambos con períodos de unos 30 años, y por ello muy adecuados como indicadores para movimientos atmosféricos de gran duración. Se establecieron estaciones captadoras de lluvia en todo el mundo, sobre todo en el Reino Unido y en los Estados Unidos, para estudiar el retorno desde la estratosfera del polvillo radiactivo [2]. En cada estación de la red británica se recoge la lluvia durante trimestres y se envía a Harwell donde se determinan radioquímicamente los isótopos ^{89}Sr, ^{90}Sr y ^{137}Cs. En una estación (Milford Haven, Pembrokeshire) también se toman muestras mensuales. Los principales resultados obtenidos se basan en los análisis del ^{90}Sr (período, 28 años) y del ^{89}Sr, de vida más corta (período, 50 días). La relación $^{89}Sr/^{90}Sr$ en una muestra puede usarse como una medida de la edad real de los productos de escisión; la relación vale 180 : 1 inmediatamente después de la explosión y se reduce a la mitad cada 50 días. A menudo se puede usar la relación para determinar las cantidades relativas de productos de fisión nuevos y antiguos en una muestra compleja.

En la Fig. 3 se representa el contenido específico de ^{90}Sr y la razón $^{89}Sr/^{90}Sr$ del agua llovida en Milford Haven, con indicación de las fechas y latitudes de las principales pruebas termonucleares [4]. Se advierte una marcada variación en la actividad específica del agua de lluvia según la estación, con máximos al final de primavera y mínimos a finales de otoño en cada año. La relación $^{89}Sr/^{90}Sr$ tiende a ser pequeña cerca de los picos de ^{90}Sr, indicando que éste, en conjunto, tiene un origen bastante antiguo y que ha procedido seguramente de la estratosfera. Los picos en 1955 y en 1956 tienen un especial interés porque el estudio de la relación demuestra que ambos proceden sobre todo de las explosiones en el Pacífico en la primavera de 1954. Estos resultados indican que el polvillo retenido en la estratosfera es devuelto a la Tierra periódicamente y no de un modo uniforme. En general el contenido específico de ^{90}Sr en el agua de lluvia, en las seis estaciones para toma de muestras en el Reino Unido, nó se ha alterado por variaciones hasta de 8 : 1 veces en las intensidades anuales de lluvia, lo que sugiere que la actividad de las precipitaciones es proporcional a la actividad del aire y que por ello puede probablemente utilizarse en cualquier parte como una medida de la actividad de ésta. Tal consecuencia está apoyada por la observación de que en 1955 y en 1956, el contenido de ^{137}Cs en el aire troposférico sobre el Reino Unido seguía la misma variación cíclica que el ^{90}Sr en la lluvia [5].

Para la red mundial se ha promediado el contenido de ^{90}Sr en el agua de lluvia, durante todo el período de toma de muestras en cada estación, y se representa en la Fig. 4 en función de la latitud. Puesto que puede hacerse pasar por los puntos una curva bastante regular, pese a las grandes diferencias en las longitudes de las estaciones captadoras de muestras, es razonable suponer que el contenido

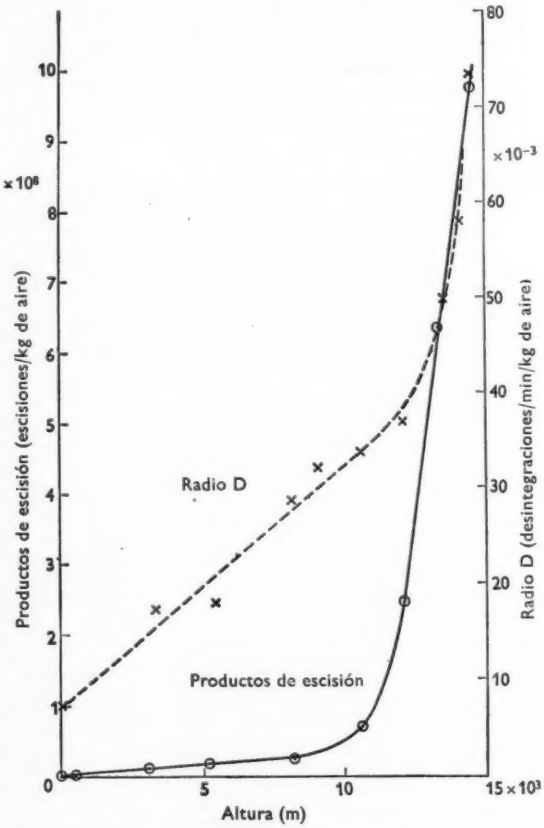


FIGURA 2 – *Distribución vertical de los productos de escisión y del radio D en la atmósfera.*

medio de ^{90}Sr en el agua de lluvia es en general sólo una función de la latitud. El gran valor a los 70° N fue obtenido en una estación en el norte de Noruega, que podía estar influída por su proximidad a los campos de ensayo rusos. La característica más notable de la curva es que poco del ^{90}Sr procedente de la estratosfera se está depositando en las latitudes ecuatoriales a pesar de que muchas explosiones de prueba tuvieron lugar en la latitud 11° N. Lockhart ha observado [6] una distribución geográfica similar en la concentración de la radiactividad total en el aire, al nivel del suelo, a lo largo del meridiano 80° O en mayo y en agosto de 1959; la explosión de prueba más reciente había tenido lugar en octubre de 1958. Machta ha presentado [7] una prueba final y convincente relativa a esta falta de uniformidad en la precipitación de origen estratosférico. En las explosiones de prueba americanas en el Pacífico (verano de 1958) fue creado en cantidades fácilmente detectables un indicador nuevo e inconfundible, el volframio-185, y la curva de distribución de este isótopo en el agua de lluvia era muy parecida a la representada en la Fig. 5.

Resumiendo, las observaciones indican que el ^{90}Sr es devuelto desde la estratosfera a la troposfera de un modo periódico, y que la mayor parte del material se transfiere en las latitudes medias y elevadas. Estas dos características deben ser consecuencias del modo como se intercambia el aire entre las dos regiones de la atmósfera, y es interesante observar que concuerdan con el modelo de Dobson [8] y de Brewer [9] para la circulación general de la atmósfera, basado en medidas de ozono y de vapor de agua. El contenido de vapor acuoso en la estratosfera es muy pequeño, lo que indica que el aire ascendente de la troposfera ha debido perder su humedad en el trayecto. Según Brewer, este paso ascendente puede ocurrir sólo cerca del ecuador (flechas hacia arriba en la Fig. 1), y la humedad se condensará y eliminará mientras atraviesa el cinturón de aire muy frío que se sabe existe en una banda localizada de la tropopausa ecuatorial. Dobson ha estudiado la forma real del gradiente del vapor acuoso en la atmósfera y lo ha encontrado difícil de explicar salvo como el resultado del lento descenso de aire seco estratosférico en las latitudes medias (Fig. 1). Estas deducciones parecen estar confirmadas por la distribución, según las latitudes, del ^{90}Sr en el agua llovida. Los valores pequeños de la concentración en la lluvia ecuatorial indican que el ^{90}Sr no desciende cerca del ecuador mientras que los grandes valores en las latitudes medias apoyan la

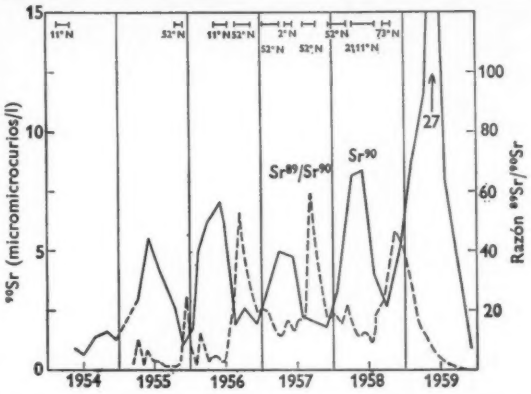


FIGURA 3 – *Concentrationes de ^{90}Sr y ^{89}Sr en agua de lluvia en Milford Haven, 1954–59. Los símbolos de arriba indican las localizaciones y fechas de importantes pruebas termonucleares.*

teoría de Dobson de la región principal de transporte descendente.

La variación del contenido de ^{90}Sr según las estaciones se parece notablemente a la del ozono total atmosférico, observada por numerosos investigadores. El ozono tiene en la atmósfera una evolución compleja. Poca duda cabe de su origen fotoquímico en la atmósfera superior ni de que su mayor intensidad de producción tiene lugar un poco por encima de los 30 km. A tales alturas el ozono es bastante inestable a la luz solar y su promedio de vida es relativamente pequeño; hay un estado de equilibrio fotoquímico. A niveles estratosféricos inferiores el ozono está protegido contra los efectos de la luz solar por el ozono que hay sobre ellos, y es por tanto mucho más estable. Así, si una masa de aire con un gran contenido de ozono desciende desde, digamos, 25 km a la estratosfera inferior, penetra en una región donde su promedio de vida es más largo, pero como el «déficit» a 25 km se compensa bastante aprisa por la creación de ozono nuevo, aumenta la cantidad total de ozono en la atmósfera.

Según Dobson el aumento observado según las estaciones en el ozono total atmosférico es el resultado del descenso de los aportes de masas frías de aire que se forman sobre el polo invernal cuando está en la sombra (Fig. 1). Este descenso introduce en la estratosfera inferior aire rico en ozono al empezar la primavera. Es prudente postular que también podría llevar aire rico en ^{90}Sr a la estratosfera inferior, puesto que se ha probado ya que hay en la estratosfera, sobre los 14 km, grandes concentraciones de productos de escisión (Fig. 2). El aporte reciente de ^{90}Sr en la estratosfera inferior

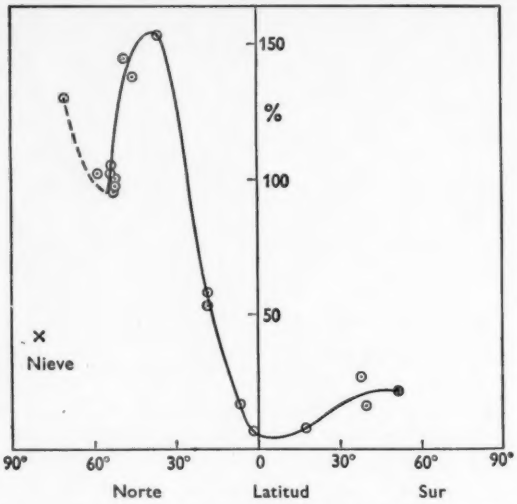


FIGURA 4 – *Contenido medio de ^{90}Sr en el agua de lluvia a diversas latitudes,* 1956–59.

sería cedido gradualmente a la troposfera, introduciendo un componente variable con las estaciones, en la concentración del ^{90}Sr en el aire troposférico y en la lluvia. Es de esperar, por razones de continuidad, que el descenso de las masas frías de aire inicie un flujo meridional en la estratosfera, que podría causar una deriva de los productos de escisión hacia los polos, desde las latitudes inferiores en la estratosfera. Este flujo tendería a confinar los productos de escisión procedentes de una explosión de prueba en el hemisferio donde tuvo lugar, y como hasta ahora todas las explosiones termonucleares se han efectuado en el hemisferio norte, explicaría cualitativamente el hecho de que se deposite más ^{90}Sr en este hemisferio que en el sur (Fig. 4).

Martell [4] ha demostrado que las nubes estratosféricas de las pruebas rusas efectuadas en latitudes más al norte, se depositan mucho antes que las procedentes de ensayos en el Pacífico. Esto explicaría en parte el gran pico del ^{90}Sr en 1959 después de la explosión en Rusia en el otoño de 1958, aunque Ambrosen [10] ha demostrado que casi el 50% de este pico debe atribuirse a restos más viejos. La conclusión de Martell no es incompatible con el modelo de Dobson y Brewer puesto que las nubes de estallidos en el norte penetran en la estratosfera más cerca de la región de descenso del aire estratosférico y de la región de entrada en la troposfera. El resultado sería completamente el previsto si una porción importante del polvillo procedente de las explosiones rusas no subiera por encima de las capas de la estratosfera. No obstante, Martell también achaca gran parte de los máximos observados según la época más que a causas meteorológicas a las pruebas inmediatamente anteriores. Esta opinión no puede explicar razonablemente los máximos de 1955 y 1956, que podrían asociarse a lo sumo sólo a las explosiones de 1954. Puesto que no se han efectuado grandes pruebas desde 1958, la interpretación de Martell no puede aplicarse a cualesquiera picos que puedan observarse en 1960 o después, si dura la suspensión de pruebas.

LOS ISOTOPOS PRODUCIDOS POR LOS RAYOS COSMICOS

Cuando los rayos cósmicos de gran energía rompen los núcleos de nitrógeno, oxígeno y argón, se producen varios isótopos radiactivos, y Peters ha sugerido [11] que algunos de estos podrían complementar los productos de fisión para estudiar la circulación del aire. Dos isótopos con períodos convenientes son el ^{7}Be, de 53 días, y el ^{32}P, de 14 días, creados sobre todo, pero no exclusivamente, en las capas superiores de la atmósfera. La intensidad de producción es esencialmente constante, y los isótopos desaparecen finalmente por desintegración radiactiva o por precipitación.

Peters demuestra que la intensidad de depósito del ^{7}Be es casi tan grande en las regiones tropicales como en Chicago, o sea que la distribución del depósito no tiene la forma característica de la del polvillo que ha venido principalmente de la estratosfera (Fig. 4). Concluye que la mayoría del ^{7}Be creado en la estratosfera se desintegra antes de que pueda ser transportado a la atmósfera inferior y que el ^{7}Be depositado en la lluvia es producido sobre todo en la troposfera. Esto concuerda con el hecho de que el flujo de rayos cósmicos que producen el ^{7}Be (y el ^{32}P) en la troposfera no varía notablemente con la latitud.

Los núclidos formados en la estratosfera pueden, por su largo tiempo promedio de permanencia, acumularse hasta un estado de equilibrio radiactivo, y el valor calculado de la relación $^{7}Be/^{32}P$ es 400. El tiempo medio de residencia en la troposfera, basado en los datos con productos de escisión, es de unos 30 días, y en este lapso la razón puede alcanzar un valor de casi 140 tan sólo. Esto hace posible detectar la presencia en la troposfera de aire que ha venido de la estratosfera, e indica que la radiactividad originada por la radiación cósmica puede ser útil para el estudio de la circulación del aire en gran escala. Por ejemplo, se ha medido aquella razón en lluvias tropicales en la India [12]:

la media de 21 muestras fue 150, con un valor extremo de 290. Si hubiera entrado en alguna de las muestras una cantidad apreciable de aire estratosférico, la razón $^{7}Be/^{32}P$ hubiera sido muy superior. Este resultado está de acuerdo con las pequeñas concentraciones de ^{90}Sr halladas en la lluvia ecuatorial, y en tal sentido apoya el modelo de circulación de Dobson y Brewer.

Otros núclidos radiactivos importantes producidos por los rayos cósmicos en la atmósfera son el ^{14}C y el tritio, también originados y liberados en la estratosfera por las pruebas de grandes armas nucleares. Se han efectuado experimentos [13] en los que se ha medido el exceso de ^{14}C y de tritio sobre el valor naturalmente presente en la estratosfera, tomando muestras desde globos hasta alturas de 30 km. Los resultados muestran una clara deriva hacia el polo del ^{14}C que había sido inyectado alto en la estratosfera unos 15 meses antes en la latitud 11° N. Una deriva de este tipo está implícita en el modelo de Dobson y Brewer, y por la falta de uniformidad en el depósito del ^{90}Sr.

LOS DESCENDIENTES DEL RADON

Una característica común a todos los indicadores hasta aquí descritos es su origen estratosférico. Por ello pueden usarse directamente para estudiar el mecanismo del transporte del aire desde la estratosfera hasta la troposfera, pero no el desplazamiento complementario en sentido opuesto. Burton y Stewart han propuesto recientemente [14] como adecuados para este objeto los productos con larga vida del radón natural, que como es un gas, puede escapar de la corteza terrestre hacia la atmósfera, donde se desintegra para originar una serie de productos descendientes sólidos; el radio D (período, 19,4 años) y el radio F (138,4 días de período) son convenientes para los estudios de circulación. En la Fig. 3 se representa la distribución atmosférica del radio D sobre el Reino Unido, determinada por filtración del aire y análisis radioquímico del producto; cada punto es el promedio de varias muestras. La concentración de radio D por unidad de masa del aire aumenta despacio con la altura en la troposfera pero el gradiente aumenta bruscamente en la estratosfera y es precisamente tan inclinado como el de los productos de fisión que bajan. Este resultado bastante sorprendente sugiere que algo de RaD está bajando de la estratosfera en las latitudes medias para complementar las mayores concentraciones creadas directamente en la troposfera. El origen de este RaD ha de ser el radón y sus descendientes, llevados por el aire troposférico que asciende dentro de la estratosfera en alguna otra región. La deducción obvia es que esto tiene lugar cerca del ecuador, como sugieren Dobson y Brewer.

Como medida del tiempo que los átomos de indicador han permanecido en la atmósfera puede usarse la relación de actividades radio F/radio D, que es cero cuando el radio D está recién formado, y que se aproxima a la unidad en unos 500 días. El valor medio al nivel del suelo y en agua de lluvia es 0,10, lo que indica que el promedio de vida de un átomo en la troposfera antes de ser depositado por la lluvia es 29 días. En la estratosfera inferior sobre el Reino Unido el valor de la razón es 0,65, lo que corresponde a un tiempo de permanencia de 212 días. La diferencia (unos 6 meses) puede tomarse como el lapso que el aire tropical ascendente permanece en la atmósfera antes de regresar a la troposfera en latitudes medias.

CONCLUSION

Los resultados de los experimentos descritos han sido interpretados de acuerdo con el modelo de Dobson y Brewer de circulación atmosférica, al que parecen ajustarse razonablemente. No todos los meteorólogos aceptan esta explicación, pues hay dificultades dinámicas que a ella se oponen.

REFERENCIAS

[1] STEWART, N. G., CROOKS, R. N. y FISHER, E. M. R. Atomic Energy Research Establishment *Publ.* HP/R/2017, 1957.

[2] STEWART, N. G., OSMOND, R. G. D., CROOKS, R. N. y FISHER, E. M. R. *Ibid.*, HP/R/2354, 1957.

[3] CROOKS, R. N., OSMOND, R. G. D., OWENS, M. J. y FISHER, E. M. R. *Ibid.*, HP/R/3094.

[4] MARTELL, E. A. *Science*, **129**, 1197, 1959.

[5] STEWART, N. G. *Smokeless Air*, **28**, 285, 1958.

[6] LOCKHART, L. B. HASL-69, United States Atomic Energy Commission, Nueva York. Octubre 1959.

[7] MACHTA, L. Evidence to Joint Committee on Atomic Energy, Washington. Mayo 1959.

[8] DOBSON, G. M. B. *Proc. roy. Soc. Lond., A.*, **236**, 187, 1956.

[9] BREWER, A. W. *Quart. J. R. met. Soc., Lond.*, **75**, 351, 1949.

[10] AMBROSEN, J. *Nature, Lond.*, **185**, 301, 1960.

[11] PETERS, B. *J. atmos. terr. Phys.*, **13**, 351, 1959.

[12] GOEL, P. S., NARASAPPAYA, N., PRABHAKARA, C., RAMA, T. y ZUTSHI, P. K. *Tellus*, **11**, 91, 1958.

[13] HAGEMANN, F., GRAY, J., MACHTA, L. y TURKEVICH, A. *Science*, **130**, 542, 1959.

[14] BURTON, W. M. y STEWART, N. G. *Nature, Lond.*, **186**, 584, 1960.

Los pájaros pergoleros

A. J. MARSHALL

Las aves pergoleras tienen la singularidad de edificar unas estructuras especiales llamadas pérgolas (*sensu lato*), donde verifican sus cortejos o pavoneos. Es difícil estudiar en libertad estos pájaros, de modo que hasta hace relativamente poco no fue posible una interpretación científica de su curiosísimo comportamiento. El autor refuta la creencia vulgar de que el pavoneo sea caprichoso, o que corresponda a un sentido estético consciente. Cree que la construcción de pérgolas es un simple desplazamiento del instinto de nidificar. Las fotografías de este artículo son de Mr. Norman Chaffer.

Hacia el año 1900, en la región selvática del río Ord (Australia occidental), Mr. Edward Delaney echó de menos sus gafas en la veranda. Este episodio trivial dio a Mr. Delaney celebridad. El gran pergolero gris (*Chlamydera nuchalis*) se las había robado para decorar su pérgola. En los escenarios de cortejo de este pájaro se han hallado bellos ejemplares de oro incrustado en cuarzo y, alguna vez, fragmentos de ópalo noble.

Increíble parecería el relato de A. H. Chisholm sobre un pergolero moteado (*C. maculata*) de no estar bien comprobados los robos habituales de este pequeño pájaro de cresta lilácea. El ojo de cristal que dicho autor solía dejar mientras dormía sobre la mesilla de noche, fue encontrado con otros muchos objetos llamativos en una pérgola próxima.

Nada extraña que los pergoleros hayan alcanzado fama de amontonadores de abigarrada morralla, ni que, desde hace tiempo, venga a tildarse de «pergoleros» a los niños y personas que coleccionan objetos inservibles. Sin embargo, los pergoleros no son decoradores incongruentes ni realizan pavoneos indiscriminados. La «chatarra» que buscan responde a un tipo bien definido.

Los pájaros pergoleros han pasado al folklore de Australia. La mayoría de los cuentos que circulan allí sobre ellos son ciertos, aunque contienen un vicio de interpretación. El naturalista John Gould dio nombre a esta familia de aves en la época victoriana y, no sin picardía, creyó que las pérgolas y tablados eran antetodo sitios donde el macho cortejaba a la hembra. Más tarde, a medida que fueron siendo conocidos detalles del complicado pavoneo, surgió una escuela local de naturalistas que sostuvo el carácter secundario y hasta inexistente de lo sexual, suponiendo que los pergoleros son animales muy inteligentes, dados a construir pérgolas y a pavonearse dentro de ellas, movidos por una especie de esteticismo consciente. Este punto de vista es un contrasentido. Hubieron de transcurrir 20 años para que nuestros conocimientos de estos curiosos pájaros pasaran de lo puramente legendario a algo ya más o menos científico [1]. Todavía hoy casi nada se sabe de algunos pergoleros de Australia y de todos cuantos habitan en Nueva Guinea.

Los pergoleros son aves paseriformes afines a los córvidos y las aves del Paraíso. Se hallan confinados en Australia y Nueva Guinea, pero dentro de dicho sector geográfico se han propagado casi por doquier, habitando la selva tropical, la savana arbolada, la pradera, y la estepa semidesértica. Son aves de hermoso aspecto, sobre todo el macho, que puede mostrar eréctiles y vivos plumajes con reflejos metálicos. En una sola de las especies — el «jardinero pardo» de Nueva Guinea — ostentan ambos sexos plumaje modesto. Por cierto que este último pájaro construye una choza irregular e impermeable a base de epifitas, rodeada de un jardín de musgo donde pone flores de vivo color y montoncitos de hongos y frutos frescos. Ya Beccari, naturalista italiano decimonónico, quedó maravillado al hallar en plena selva tropical «una choza cónica o cenador junto a un pequeño prado artificial engalanado con flores». Podría creerse que el «jardinero pardo» compensa la falta de belleza de su propio plumaje nupcial, con esa acumulación extraordinaria de atavíos para el cortejo. En efecto, se ha sugerido dicho punto de vista, pero ello no explica por qué el «pergolero satinado» macho, provisto de plumaje, ojos y pico de deslumbradora belleza, construye también en el suelo de las selvas australianas pérgolas tan llamativas y abigarradas.

He dividido los pergoleros en 3 grupos, sin contar un cuarto grupo que comprende los afines pájaros-gatos. Los del primer grupo construyen «avenidas» o verdaderas pérgolas (Figs. 4–8, 12 y 13); pertenecen a los géneros *Ptilonorhynchus*,

FIGURA 1 – *La pérgola tipo «mayo» del «jardinero» de Queensland. Esta construcción llega a alcanzar a veces casi tres metros de altura.*

Chlamydera y *Sericulus*. Los del segundo grupo construyen «mayos» (Fig. 1) y pertenecen a los géneros *Prionodura* y *Ambylornis*. El tercer grupo sólo incluye el género *Archboldia*, propio de Nueva Guinea; este pájaro construye sólo una especie de sencillo «tablado». En cuanto a los pájaros-gatos, totalizan tres especies y dos géneros (*Ailurœdus* y *Scenopœtes*), de las que sólo una es constructora. Se trata del pájaro-gato «dentirrostro» (*S. dentirostris*) que sólo existe en un par de manchas de jungla del Norte de Queensland. Los otros dos pájaros-gatos (*Ailurœdus*) ostentan plumaje verde y habitan entre el follaje del alto bosque. El Dentirrostro, en cambio, es de color pardo y pasa mucho rato sobre el suelo de la jungla o cerca de éste. Dicho pájaro comienza por roturar un trozo de suelo; con su pico aserrado corta afanosamente hojas, seccionando sus peciolos. Las hojas son luego transportadas a la roza y colocadas con sus pálidos enveses hacia arriba; de este modo el «tablado» resultante destaca mucho más sobre el oscuro fondo de la tierra. He revuelto las hojas del tablado de uno de estos pájaros, pero después él mismo las ha vuelto a colocar normalmente en su sitio. El ave hace resonar su meliodioso torrente de notas a través de la selva sombría, posado en una percha estratégicamente situada sobre el tablado; de este modo da a conocer su presencia y título de propiedad a todo otro macho que aparezca en unos cientos de metros a la redonda.

Los pergoleros han adquirido independientemente un mismo complejo esencial de conducta, aunque con diversas especializaciones adicionales que a veces resultan grotescas. El ejemplo mejor conocido es el del «pergolero satinado» (Figs. 4–8). Habita la franja de selva virgen que jalona la costa oriental de Australia (Fig. 2). A fin de invierno, cada macho — resplandeciente en azul y negro — vuelve al territorio de pavoneo y construye con ramitas una pérgola de paredes dobles orientada aproximadamente de Norte a Sur. Entretanto se desarrollan sus gónadas y comienza la actividad endocrina de las mismas. Luego construye un tablado ante la pérgola, acarreando objetos de cinco colores diferentes, los cuales pueden variar desde una campana azul, hasta el cuello de un botellín. Con ellos el macho despliega su enérgico y sonoro pavoneo, y pronto logra atraer alguna hembra al escenario. Al comienzo ella se resiste a fijarse allí, pero él consigue hacerla retornar cada

FIGURA 2 – *El «pergolero satinado» prospera en los bordes de la selva.*

FIGURA 3 – *Objetos preferidos por el «pergolero satinado».*

FIGURA 4 – *El macho aporta una hoja a su pérgola «en avenida». (Esta figura, y las Figs. 5–8, se refieren todas al «pergolero satinado».)*

FIGURA 5 – *El macho adulto revoca sus pérgolas con una mezcla de carbón y saliva.*

FIGURA 6 – *La hembra pasa cada vez más tiempo contemplando silenciosa el pavoneo y espera dentro de la pérgola o junto a la misma.*

FIGURA 7 – *El pavoneo crece en violencia: ahora el macho gira ruidosamente sobre el escenario de sus exhibiciones.*

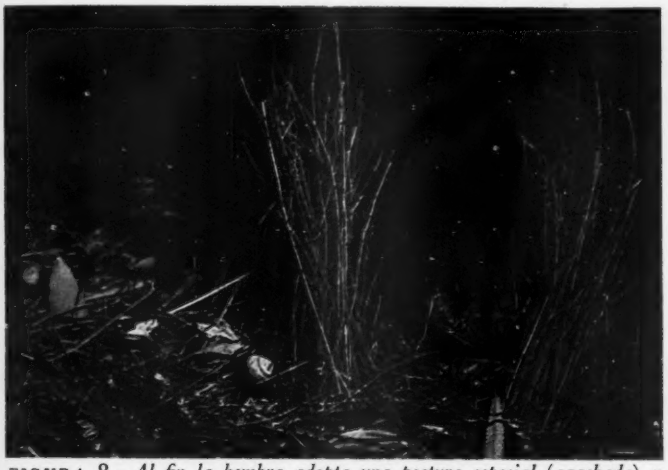


FIGURA 8 – *Al fin la hembra adopta una postura especial (agachada) y con ello polariza la atención del macho, la cual ahora se desvía de los objetos coloreados con que engalana su pérgola.*

FIGURA 9 – *El «jardinero de Queensland» aporta líquenes y orquídeas a su pérgola (Véase también Fig. 1).*

FIGURA 10 – *Reflejos metálicos por interferencia en el plumaje del macho de «jardinero de Queensland». Igual ocurre en otros pergoleros.*

FIGURA 11 – *Bayas recolectadas por el «pergolero de Queensland dorado», destinadas al decorado de su pérgola.*

FIGURA 12 – *El «pergolero moteado» acostumbra a recolectar huesos, pero toma también cualquier objeto brillante.*

FIGURA 13 (*arriba*) – *El «gran pergolero gris» es próximo pariente del moteado. Como éste, posee plumaje manchado, carente de colores llamativos.*

FIGURA 14 (*a la derecha*) – *Cuando el «gran pergolero gris» construye cerca de viviendas humanas, es posible hallar los más sorprendentes objetos en el ajuar del pájaro. Este no vacila en meterse dentro de tiendas o casas cuando ve en ellas algún objeto que le atrae.*

vez con un grito especial. Al culminar la época sexual la reunión entre ambos consortes se reafirma; la hembra pasa cada vez más largos ratos contemplativa, o en paciente espera, dentro de la pérgola o junto a ella. Entretanto, otras parejas actúan de igual modo en los contornos, y, si algún macho se ausenta de su pérgola, pronto el vecino rival acude furtivo entre la maleza y con gran energía comienza a destruir la construcción. Al marchar, el intruso se lleva en el pico una carga de ornamentos laboriosamente acumulados por el otro. Si el entrometido es sorprendido, escapa siempre ante la enérgica acometida del escandaloso propietario.

Entretanto, muchos machos adultos, pero no todos, comienzan a revocar sus pérgolas con una pasta negruzca y pegajosa que fabrican mezclando saliva con materia carbonosa que extienden sobre las ramitas internas de la pérgola ayudándose con un trozo de corteza que manejan con el pico a manera de espátula (Fig. 5). El revoque podría compararse a una pintura negra; al secar se pulveriza y acaba por desgastarse o es lavado por las lluvias. La operación del revoque es repetida con frecuencia. Algunos pergoleros satinados revocan con pulpa de fruta, ejemplo el «pergolero regente» (*Sericulus chrysocephalus*). Ciertos pergoleros del género *Chlamydera* «pintan» sus pérgolas con una mezcla de hierba seca desmenuzada y saliva.

El pavoneo puede prolongarse durante cuatro meses sin que llegue a consumarse. La hembra espera cerca mientras sus propias gónadas crecen lentamente. El macho intensifica sus pavoneos en su presencia y pronto desarrolla manojos de espermatozoides. Pero su total atención — excepto si la hembra trata de escapar — se concentra en el acarreo de material decorativo, en exhibirse y en el constante acicalamiento de su propia pérgola.

Poco a poco los pavoneos del macho aumentan y éste termina por girar ruidoso sobre el «tablado», sacudiendo enérgicamente los ornamentos circundantes (Fig. 7). Los colores de estos ornamentos coinciden con los que ostentan los cuerpos de los rivales (Fig. 3): azul, como los ojos y el plumaje; verde-amarillento, como la punta del pico; amarillo, gris y pardo, como el plumaje de jóvenes machos aún no maduros. Así pues, el pavoneo sexual puede también interpretarse como un desplazamiento de agresividad. Y es probable, además, que el revocado de la pérgola equivalga al acto de ceba del consorte, dirigido al centro de atención primordial de estos machos, que no es otro que la pérgola.

Por fin, en pleno verano, cuando la selva está pletórica de los insectos voladores necesarios para cebar la progenie, es cuando responde la hembra. Ahora se la puede ver agachada dentro de la pérgola, o junto a ella, en una actitud que nunca manifiesta durante el resto del año. Así, la atención del macho pasa de los ornamentos coleccionados a la hembra (Fig. 8) [2, 3] y sobreviene la cópula, durante la cual, a veces, parte de la pérgola es destruida. Pero la misma violencia consustancial al pavoneo tan largo tiempo ejercitada en la pérgola, llega a ser tan fuerte, que inmediatamente después de la cópula el macho (así se ha observado y hasta fotografiado a veces) ataca furioso a la hembra expulsándola de su posesión [3].

Después de fecundada, la hembra pone de uno a tres huevos en un nido construido sobre un árbol que puede distar hasta varios cientos de metros de la pérgola. El macho continúa sus pavoneos y, al parecer, no toma parte en la construcción del nido ni en la incubación, como tampoco en los cuidados de la prole nidícola. Sólo más tarde, cuando los hijos pueden volar, abandona el macho la pérgola y es ahora cuando se reunen varias familias en un solo bando que merodea por la selva a la busca de alimento, el cual consiste en frutos silvestres y a veces también cultivados. A fin de otoño, y en invierno, el macho visita ocasionalmente el paraje de su pérgola, reuniendo algunos ornamentos, arreglando un poco la estructura y exhibiendo breve pavoneo, pero luego va a reunirse de nuevo con el bando.

De los constructores de «avenidas», los mejor conocidos son el «pergolero moteado», y el «gran pergolero gris» (Figs. 12, 13). Estos pájaros poseen un plumaje manchado, muy apropiado para la vida en las regiones secas del interior de Australia, donde habitan. Ambos ostentan una cresta nucal eréctil que compensa la relativa inercia del restante plumaje. La cresta es de color naranja, pero, debido a una especial estructura esponjosa de las barbas distales de las plumas, con el sol se vuelve rosado-liliácea y llega a dar destellos argénteos [1]. Probablemente no es casualidad que ambos pergoleros acumulen sobre todo cosas brillantes o especulares en sus escenarios de pavoneo, si bien ambos reúnen además otras clases de objetos (Fig. 14). El pavoneo del «pergolero moteado» es el mejor conocido; recuerda en lo esencial al del satinado. Uno de los pocos testigos presenciales de la culminación de este pavoneo, relata que, después de celebrado el

himeneo, el macho «ataca agresivamente huesos y palos, o bien, a grandes saltos, se lanza contra un tronco» [4].

Apenas se conocen detalles sobre el comportamiento del otro grupo importante de pergoleros, que es el de los constructores de «mayos». Todas las especies comienzan tejiendo un cono de material fibroso en torno a la base de un vástago que crece en la selva. El «jardinero dorado de Queensland» (*Prionodura newtoniana*) — único representante en Australia — eleva mucho dicho cono basal (Fig. 1); a veces, la obra de varias generaciones llega a producir una construcción de casi tres metros de altura. Los machos, que son dorados, convierten esas construcciones en jardines colgantes aportando a ellas líquenes verde-amarillentos, flores de color crema (entre ellas a veces orquídeas epifitas que sobreviven al traslado) y también bayas (Figs. 9–11). El pájaro pavonea sobre una rama especialmente destinada al cántico desde donde domina su colgante jardín. También pavonea en árboles próximos.

Es fácil comprender por qué sabemos tan poco de estos constructores de «mayos». Todos, excepto uno, habitan las selvas vírgenes de Nueva Guinea, donde abundan las aves pero escasean los zoólogos. No obstante ha sido posible obtener algunos datos fragmentarios, pero valiosos [5, 6]. El único representante australiano vive también en regiones relativamente remotas [7].

Las maravillosas construcciones y conducta de los pergoleros no significan más que una extensión de los impulsos de cortejo y territorialidad conocidos en otras aves vulgares. El pavoneo (que incluye manifestaciones visuales y auditivas) suele ir asociado con la pelea, con el establecimiento de dominio territorial, el apareamiento, y el desarrollo estacional de gónadas; conduce a la sincronización del proceso sexual de ambos miembros cuando en el medio ambiente sobrevienen al fin condiciones favorables que aseguren el éxito de la reproducción. Sólo entonces llega la hembra a aceptar el macho. Muchas aves no emparentadas entre sí, como chorlitos, urogallos, manaquíes y aves liras, utilizan sencillos escenarios de pavoneo y en ellos se exhiben durante la época del celo. Se trata de casos de convergencia.

Aparece primero en los pergoleros un pavoneo sencillo. Por ejemplo puede hablarse de una ontogenia del pavoneo en el «pergolero satinado». A medida que el macho de esta especie va adquiriendo madurez sexual y gana experiencia, se nota que va complicando el ritual. Después de esparcir algunos trozos de vidrio azul bajo una higuera silvestre donde acudían a comer pergoleros jóvenes, nos fue posible inducirlos a descender al suelo para llevarse dichos objetos, llegando los pájaros a pavonear en ausencia de pérgola. Más tarde, los jóvenes machos verdosos construyen una sencilla plataforma con ramas, pavoneando sobre ella con objetos de color allí acumulados, que, por cierto, les suelen ser robados por machos adultos vecinos para sus propias pérgolas. Cuando los jóvenes machos verdosos adquieren mayor edad, construyen «avenidas» de paredes bajas. Pero no antes de los 5–6 años de edad, al mudar el plumaje a azul-negruzco, son capaces de construir una pérgola tan perfecta como la de sus mayores.

Interpretamos la pérgola como un desplazamiento del instinto nidificador. Es precisamente el macho, que no participa en la construcción del nido, quien edifica aquella curiosa estructura en su campo de pavoneo. Los pergoleros destacan entre otras aves de comportamiento análogo, por el extraordinario desarrollo que alcanza en ellos. Hemos visto que algunas especies seleccionan objetos coloreados que simbolizan la imagen de machos rivales, y que juegan con ellos violentamente, desplegando ese gárrulo pavoneo que atrae a la hembra y mantiene a raya los intrusos. Así pues, una fuerte — casi feroz — competición intraespecífica actuó como importante factor en la evolución del pavoneo de los pergoleros. Se ha escrito mucho acerca de la supuesta inteligencia de los pergoleros, pero no hay motivos para creer que esa facultad sea en ellos más elevada que en otros paseriformes superiores. No es prudente, claro está, negar palmariamente que ellos no disfruten con los objetos decorativos que coleccionan en su pérgola, pero en todo caso, la elección de los mismos es esencialmente mecánica y predeterminada. Una especie que toma lo verde-amarillento, por ejemplo, no seleccionará nunca lo verde. Ningún pergolero — que sepamos — variará de combinación cromática como varía cada día sus floreros una señora.

REFERENCIAS

[1] MARSHALL, A. J. «Bower-birds. Their display and breeding cycles». Clarendon Press, Oxford. 1954.

[2] MACNAMARA, E. *Nature, Lond.*, **176**, 207, 1955.

[3] CHAFFER, N. *Aust. Zool.*, **12**, 295, 1959.

[4] RAMSAY, J. S. P. Comunicación personal.

[5] RIPLEY, S. D. «The trail of the money bird». Harper & Bros, Nueva York y Londres, 1942.

[6] GILLIARD, E. T. *Auk*, **73**, 450, 1956.

[7] CHISHOLM, A. H. y CHAFFER, N. *Emu*, **56**, 1, 1956.

Los orígenes de la anatomía comparada

W. E. SWINTON

La anatomía comparada está hoy tan firmemente establecida que nos es fácil olvidar que en su origen fue causa de enconadas controversias y que sólo en fecha reciente se han podido establecer sus principios básicos. En este artículo se reseñan los orígenes de dichos estudios, con especial referencia a las aportaciones de Lamarck y Cuvier, estableciéndose interesante relación entre la anatomía comparada y la revolución industrial, en el sentido de que las extensas excavaciones por ésta causadas para las construcciones de ingeniería sirvieron para sacar a luz esenciales materiales fósiles.

Los primeros estudios de anatomía comparada consistieron en establecer una relación entre la anatomía de los animales y la humana. Algunos sabios, como Leonardo de Vinci y Francis Bacon, propugnaron una comparación sin prejuicios, pero la mayoría partían de la noción de que el hombre era el modelo perfecto, la base de todo módulo anatómico. Hasta John Hunter, a quien muchos consideran el padre de estos estudios, afirmaba en 1780 que la confrontación del ser humano con un cuadrúpedo era como la comparación de dos máquinas: una, obra de un artífice; la otra, producto de un novicio.

Una de las causas de tal estado de cosas era que originariamente la anatomía era, sobre todo, un estudio médico; los primeros anatomistas humanos contaban con poco material de disección: los profesores describían a sus estudiantes las estructuras anatómicas mientras un prosector las ilustraba, a veces sin relación directa alguna, diseccionando un mamífero inferior. La culminacion de la anatomía comparada, tomada en este sentido, la representa la vasta colección reunida por Hunter durante la última mitad del siglo XVIII y basada casi exclusivamente en sus trabajos de medicina y cirugía. Las investigaciones de Hunter se extendieron a casi 500 especies.

Con todo, hacia principios del siglo XIX estaban establecidas ya las bases de lo que en los últimos 50 años hemos venido llamando paleontología y anatomía comparada: Linneo había establecido ya fundamentos sólidos para la nomenclatura y clasificación de los animales; por otra parte, la intensificación de las explotaciones mineras, de las canteras y de las construcciones de ingeniería, características de la revolución industrial, han servido para revelar gran cantidad de rocas fosilíferas.

Es hoy difícil establecer quién fue el que por vez primera comprendió que cada estrato geológico presenta un contenido fósil típico y que, a su vez, los fósiles sirven para indicar la época geológica. En Inglaterra el primero fue J. Michell, físico conocido por su invención de la balanza de torsión, quien en 1760 publicó una memoria titulada *The course and phenomena of earthquakes*, en la que definía claramente las características de los estratos y afirmaba que era imposible poner orden en las irregularidades geológicas de Francia e Inglaterra sin un conocimiento general de los fósiles. En Francia, Buffon había dicho que los fósiles indican la sucesión temporal, y en 1780 el abate J. L. Giraud-Soulavie publicó el primer volumen de su *Histoire naturelle de la France méridionale*. Ese mismo año se publicó el primer mapa geológico de Francia, preparado por J. E. Guettard y A. L. Lavoisier.

William Smith, ingeniero de minas, fue el primero en establecer un sistema completo de correlación entre las rocas y su contenido fósil. Comprendió las ventajas que suponía la posibilidad de establecer claramente los límites de los estratos y en 1799 preparó un mapa que es probablemente el primero en realidad geológico. Sin embargo, su obra más importante fue el *Geological Map of England and Wales*, de 1815, el cual sirvió de base para 21 mapas parciales de los condados, y en el que estableció correlación detallada entre los estratos y los fósiles. Sus mapas y colecciones se conservan hoy en el *British Museum* (*Natural History*) de Londres.

Por lo tanto, hacia 1820 había ya una clara comprensión de la secuencia de estratos y fósiles, noción de extraordinaria importancia en el desarrollo de la paleontología y la anatomía comparada. Cierto es que los fósiles se conocían desde hacía ya mucho; Leonardo los había coleccionado, pero ahora se reconocía por vez primera su verdadero significado. Escritores anteriores — Leibniz en su *Protogæa* (1749) es uno de ellos

— habían afirmado que eran «archivos del pasado», pero para la mayoría no eran más que piedras con dibujos. La colección sin cesar creciente de fósiles hallados en canteras y minas fue aumentando paralelamente a la de plantas y animales vivientes que se descubrían en las exploraciones contemporáneas, haciéndose cada día más evidente la discrepancia entre los datos fósiles y las observaciones de los seres vivos. Al parecer, algunas especies vivientes no tenían antepasados fósiles; por el contrario, había fósiles sin semejantes vivos. También se observaban curiosas diferencias en la distribución de los fósiles: algunos de ellos no se encontraban ya en el estrato siguiente, otros sí. La cuestión era: cuando un tipo fósil aparecía en dos estratos sucesivos, ¿se trataba de los supervivientes de alguna catástrofe?

Esta teoría catastrófica alcanzó su apogeo en Francia, aunque en dicho país prosperaban la paleontología y la biología descriptivas. Giraud-Soulavie se dedicaba al estudio de los fósiles de las rocas calcáreas; Buffon describía los animales vivos en detalle; Louis Daubenton complementaba eficazmente la obra del anterior, pues a cada monografía de Buffon, Daubenton añadía descripciones de las estructuras óseas comparando las de los diferentes animales y el hombre. En efecto, Buffon y Daubenton demostraban así ambos la complejidad y uniformidad de la morfología zoológica. La anatomía comparada era también objeto de estudio en Inglaterra, aunque principalmente, como en la época anterior, con fines médicos.

Sin embargo, no era posible establecer una correlación válida entre la geología, los fósiles y la anatomía comparada sin establecer una escala cronológica adecuada. John Hutton, de Edimburgo, en su *Theory of the Earth* (1785) había afirmado que las fuerzas naturales que han producido todos los accidentes geográficos visibles podían, a lo largo de un período suficiente de tiempo, haber causado asimismo los cambios que la geología observaba. En un artículo de ENDEAVOUR [Vol. VI, 109, 1947] se ha descrito ya esta temprana manifestación de «uniformitarismo», seguida luego en 1802 por John Playfair; pero la teoría no quedó firmemente establecida hasta la publicación de los *Principles of Geology* (1830–33) de Charles Lyell, que son la base efectiva de la geología moderna. Estos progresos no hallaron mucho eco en Francia, ni en el resto de Europa, a pesar de que los trabajos de Lyell tenían amplitud continental. En realidad, los avances se produjeron gracias al desarrollo de la paleontología y la anatomía comparada: las dos figuras gigantes de ese período fueron los biólogos franceses Lamarck y Cuvier.

Lamarck — Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck — nació en 1744. Su mala salud le obligó a abandonar la carrera militar, y se dedicó a los estudios botánicos, en los que pronto alcanzó considerable reputación. En 1793, la Convención Nacional le nombró catedrático de zoología en el *Jardin des Plantes*, cosa en cierto modo sorprendente. Otra cátedra parisina fue otorgada en 1809 a Geoffroy Saint-Hilaire, minerálogo que había acompañado a Napoleón a Egipto para recojer fósiles.

Lamarck se dedicó fervientemente a estos nuevos estudios y publicó sus numerosas investigaciones zoológicas, ganando gran reputación sobre todo por el aspecto sistemático de su labor. También entró en el terreno especulativo y sugirió teorías sobre la descendencia animal, variaciones, adaptaciones y clasificación, teorías que aunque recibieron escasa atención en su momento hoy se consideran como un anticipo de las doctrinas darwinistas y, por lo tanto, una afirmación de la realidad de la evolución. Lamarck comprendió que la interpretación de los datos biológicos estaba deformada por prejuicios antropomórficos y que, por consiguiente, aunque los animales son individuos con características que pueden indicar o sugerir afinidades, gran parte de su clasificación, tal como estaba establecida, era enteramente artificial.

No aceptaba la doctrina catastrófica; a su juicio los animales de hoy son los descendientes de otras criaturas vivas en el pasado y no resultado de un acto independiente de creación. Creía que muchos de ellos habían sufrido modificaciones, aunque, las razones que Lamarck da para dichas modificaciones nos parecen hoy ridículas. La conocida teoría de que el alargamiento del cuello de la jirafa está causado por el hecho de que el animal se alimenta de hojas de árbol, o que el desarrollo de los cuernos en los machos de los rumiantes se debe al aumento de la presión sanguínea en la cabeza durante la época de celo son absurdos que a juicio de muchos quitan valor a otras nociones verdaderamente proféticas sobre las modificaciones y la descendencia. Desgraciadamente, por causas ajenas a consideraciones puramente científicas, en muchas ocasiones Lamarck se consideró obligado a propugnar ciertas nociones sólo por que eran las opuestas a las de su rival Cuvier, quien nada hizo para resolver una situación que hoy nos parece enteramente

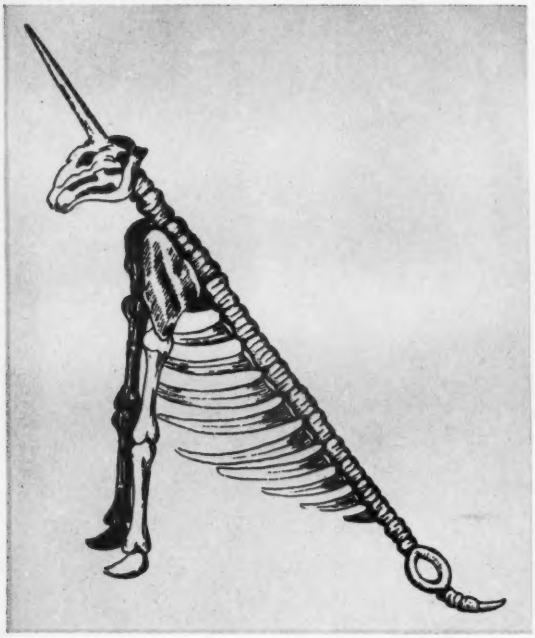


FIGURA 1 – *La primera restauración de un vertebrado: los huesos de un mamut se han reordenado para producir la semblanza de un unicornio. Preparada por Otto von Guericke* 1663, *esta restauración fue aprobada y publicada por Leibniz en* 1749.

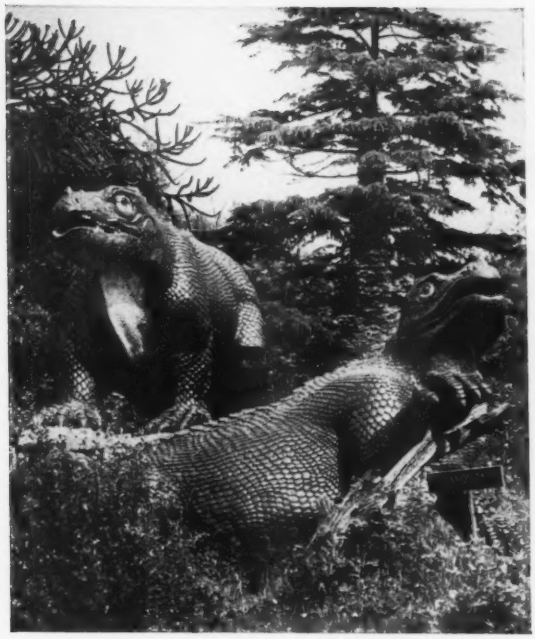


FIGURA 2 – *La primera reconstrucción tridimensional partiendo de un fósil: modelo de un dinosaurio (iguanodonte) preparado por Gideon Mantell. Longitud,* 10 *m aproximadamente.*

lamentable. Tampoco sus seguidores y discípulos le fueron de gran utilidad; por el contrario, muchos de ellos le causaron gran daño debido a la extravagancia de las doctrinas evolutivas que defendían.

Pero el momento era oportuno para una unificación del conocimiento biológico; su fautor fue Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert, Baron Cuvier. Nacido en 1769, había cursado sus estudios en Stuttgart dedicándose especialmente a la zoología; en 1795 había sido nombrado catedrático de anatomía comparada en el *Muséum d'Histoire Naturelle;* en 1802 fue designado catedrático titular en el *Jardin des Plantes.* Era así colega de Lamarck y poco después había de serlo de Saint-Hilaire.

Los predecesores de Cuvier habían recibido todos una preparación médica y eran médicos. Entre ellos estaba Petrus Camper, autor de monografías sobre el elefante y el rinoceronte, y J. F. Blumenbach, introductor del estudio de la anatomía comparada en Alemania. Por lo tanto, Cuvier, sin tales antecedentes médicos, podía quizás mejor que nadie enfocar estos estudios desde un punto puramente científico.

Le interesaba sobre todo la morfología de los grupos por él estudiados y tenía por principio eliminar todo lo que fuera pura especulación y no estudiera confirmado. Así, cuando en 1811 fue a Haarlem aprovechó la oportunidad para examinar el famoso fósil *Homo diluvii testis* (hombre testigo del diluvio) que se consideraba generalmente como el esqueleto de un niño ahogado durante el diluvio (Fig. 6). Tal afirmación había sido publicada en 1726 por Johannes Scheuchzer y causado considerable sensación. Cuvier examinó científicamente los restos llegando a la conclusión — mucho menos sensacional pero sí más realista — de que se trataba de una salamandra fósil.

Hacia esa época lo que se necesitaba era una interpretación acertada de la paleontología, aún más que de la zoología. Las restauraciones y descripciones de los grandes esqueletos fósiles primeramente hallados revelaban nociones derivadas más bien de la mitología que de la ciencia misma (Fig. 1). Cuvier pronto puso remedio a todo esto. Siguiendo lo que había aprendido de Giraud-Soulavie y con la ayuda del geólogo Alexandre Brongniart comenzó a realizar, usando

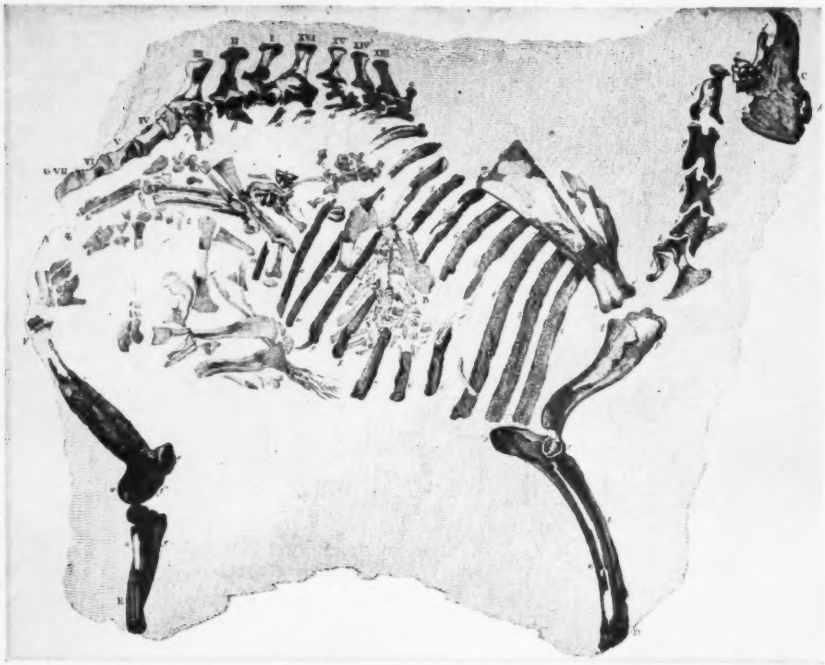


FIGURA 3 – *Esqueleto incompleto de* Palaeotherium, *mamífero eocénico, hallado en Pantin, París.* (Ossemens fossiles, 2ª *edición,* 1822.) (Véase *también Fig.* 5.)

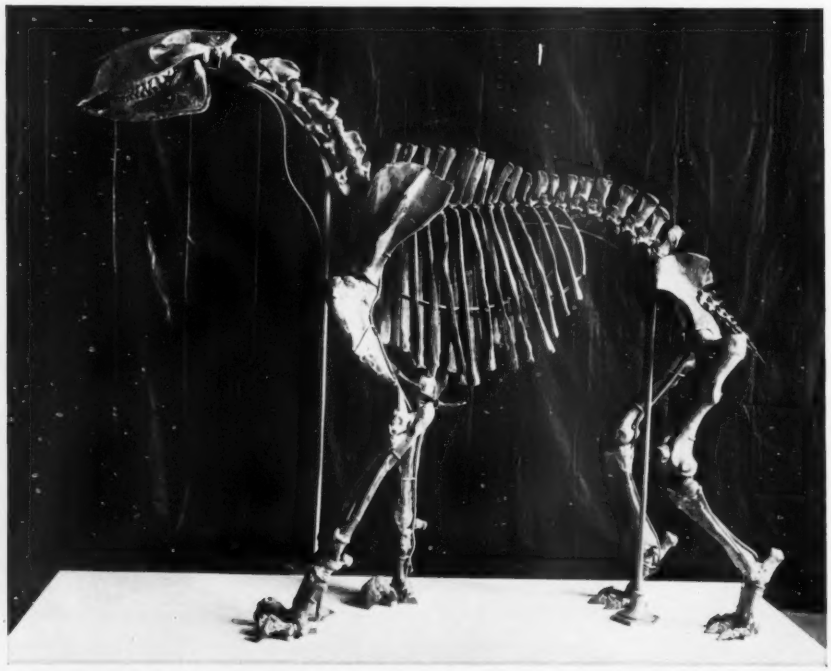


FIGURA 4 – Moropus, *herbívoro miocénico provisto de molares y garras y que alcanzaba el tamaño de un caballo.*

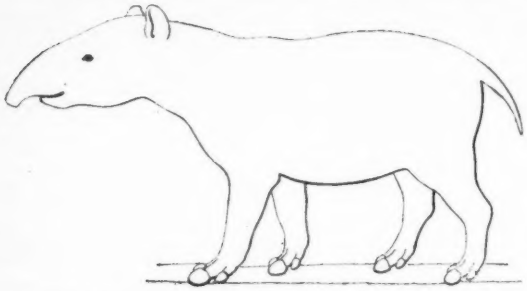


FIGURA 5 – *Reconstitución por Cuvier de* Palaeotherium *basada en sus estudios de anatomía comparada. El animal tenía el tamaño de un rinoceronte pequeño.*

métodos nuevos, serios estudios de los fósiles que se hallaban en gran número en la cuenca de París.

Dichos fósiles habían sido ya objeto de estudio y eran para Cuvier prueba convincente del catastrofismo, doctrina que él aceptaba. Sin embargo, el nuevo y detallado examen de los esqueletos, pieza por pieza, con cuidadosa observación del emplazamiento que ocupaban en las rocas y la anotación de sus relaciones mutuas significaba el nacimiento de la paleoecología. Cuvier halló que la comparación de los fósiles con mamíferos vivientes le permitía completar esqueletos mutilados sobre una base osteológica segura (Fig. 3). Aún más, luego pudo utilizar los datos que le suministraban los fósiles para completar el conocimiento de los animales vivos. Así pudo deducir la paleontología de los vertebrados en parte de los estudios zoológicos de estos animales; del mismo modo, la aplicación de los datos paleontológicos servía para perfeccionar las clasificaciones zoológicas.

Sus estudios no se limitaron únicamente a las osamentas ya que, aunque su enfoque era esencialmente empírico, hizo todos los esfuerzos posibles para determinar el tipo de tejidos blandos relacionados con los huesos (Fig. 5). Su propósito era escribir un vasto tratado de anatomía comparada, lo que nunca realizó, aunque su obra clásica, *Recherches sur les ossemens fossiles* es suficiente para otorgarle el título de fundador de la paleontología de los vertebrados. Su labor de zoólogo hizo posible un mejor conocimiento de los animales que estudiaba y amplió los estudios taxonómicos algo limitados de Linneo, quien gozaba aún de inmensa autoridad y cuyos libros seguian siendo textos de examen. Cuvier probó que la serie zoológica, por mucho que los diarios descubrimientos geográficos aportasen nuevos datos, necesitaba la ampliación que suministraban los fósiles. Era inmediatamente evidente que, fuera cual fuera el origen de los restos, éstos eran variaciones de manifestaciones vitales y de su continuidad: las distintas formas aparecían y desaparecían de las rocas, algunas de ellas correspondían a animales todavía existentes, otras no. Todo esto ya había sido observado antes, pero

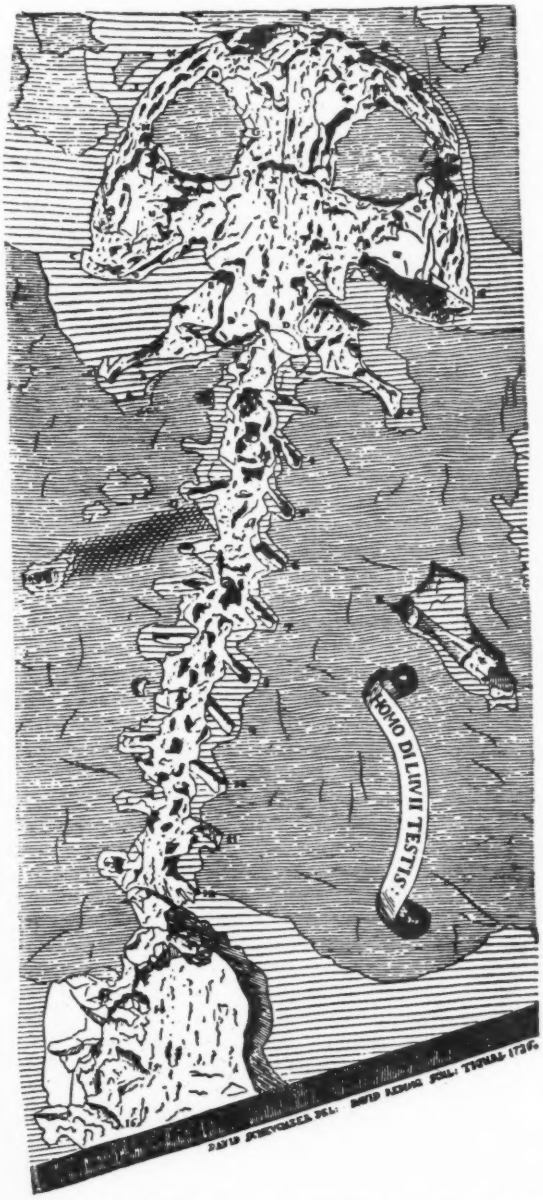


FIGURA 6 - *Panfleto de Scheuchzer en el que se relata el descubrimiento en* 1726 *del* Homo diluvii testis *que luego Cuvier demostró ser una salamandra fósil.*

ahora comenzaban a comprenderse las consecuencias de la extinción, que conducían a un nuevo problema: ¿se había producido una transformación de ciertas formas en otras? Lamarck había considerado que la vida era un proceso continuo y progresivo; para Cuvier sólo había una sucesión de especies fijas, una escala zoológica. Quizás esto parezca una limitación del genio de Cuvier, pero, en todo caso, era una limitación afortunada pues le permitió prestar meticulosa atención a los detalles y fundar así la ciencia de la paleontología de los vertebrados.

Cuvier creía en la necesidad de la conformidad entre todas las partes de un animal y en que cada parte se modificaba de acuerdo con las demás. Esto es la esencia de la «ley de Cuvier», que durante mucho tiempo fue intangible pero que hoy sabemos no tiene validez. Así, según él, un animal carnívoro debe tener garras para sujetar la presa y dientes apropiados para desgarrar la carne, un aparato digestivo capaz de asimilar tal alimento y un sistema de locomoción que le permita perseguir a sus victimas, lo cual exije una musculatura apropiada y sus correspondientes estructuras óseas; los ojos deben tener suficiente eficacia y el cerebro permitir adecuada percepción.

Cuvier y sus seguidores suponían por lo tanto que de un sólo hueso se podían deducir las características de un animal; su experiencia y conocimientos de anatomía comparada les permitieron completar esqueletos parciales de muchos de los mamíferos fósiles por él descubiertos y realizar así restauraciones exactas sobre una báse lógica.

Sin embargo, esta doctrina le hizo caer varias veces en error. Gideon Mantell, médico y paleontólogo de Sussex y uno de los iniciadores de las investigaciones sobre los dinosaurios como consecuencia del descubrimiento por su esposa del primer diente identificado de tales criaturas, buscó encarnizadamente restos de otros huesos que hubieran podido pertenecer al mismo animal y hallando diversos materiales que así podían interpretarse, envió algunos de ellos a Cuvier, pidiéndole su opinión. Este dijo que algunos eran de hipopótamo, otros de rinoceronte; pero finalmente resultó que todos pertenecían al mismo dinosaurio del que procedía el diente (Fig. 2). Si bien Cuvier reconocía que era de un animal herbívoro, su conclusión errónea de que pertenecían a un mamífero y no a un reptil tenía al parecer como causa su propio escepticismo respecto a la exactitud de los datos geológicos de Mantell. En otra ocasión identificó unos huesos fósiles huecos que le enviaron de Sussex como procedentes de un ave llamado *Ardea;* posteriormente se ha comprobado pertenecen a pterodáctilos. En otras ocasiones acertó con materiales procedentes de la Gran Bretaña; así, durante su visita a Oxford en 1818 identificó exactamente ciertas mandíbulas halladas en estratos jurásicos como pertenecientes a mamíferos.

La prueba final de la inexactitud de la «ley de Cuvier» se ha establecido después de su muerte. ¿Cómo hubiera explicado Cuvier un animal tal como el *Archaeopteryx*, ave de esqueleto casi reptiliano y osamenta no neumática? ¿O los calicóteros del mioceno de Asia, América y Europa que, según vemos en *Moropus* (Fig. 4), tienen muchas características del hipopótamo, las proporciones del caballo y garras envainadas? Sin embargo, su ley contiene una verdad general, ya que ciertos caracteres fenotípicos muestran un elevado grado de asociación.

Los estudios de Cuvier en la cuenca de París son notables por su método y atención al detalle: sin embargo, la complejidad y diversidad del material que observaba no le llevaron a abandonar su creencia en una serie de catástrofes que habían determinado la distribución paleontológica, ni dejó nunca de creer en la fijeza de las especies. Con todo, la aplicación de la anatomía comparada por él establecida a la reconstrucción de los fósiles fue uno de los fundamentos de la teoría evolutiva.

BIBLIOGRAFIA

COLE, F. J. «A History of Comparative Anatomy from Aristotle to the Eighteenth Century». Macmillan & Co., Londres. 1844.

CUVIER, G. «Recherches sur les ossemens fossiles de quadrupèdes». París. 1812.

Idem. «Le règne animal». 10 vols. París. 1817.

Idem. «Cuvier's Animal Kingdom». Londres. 1840.

GIRAUD-SOULAVIE, J. L. «Histoire naturelle de la France méridionale». Vol. 1. París. 1790.

GILLESPIE, C. C. En Glass *et al.* «Forerunners of Darwin». Johns Hopkins, Baltimore. 1959.

HUNTER, J. «Essays and Observations on Natural History, etc. Posthumous papers on these subjects». 2 vols. Londres. 1861.

HUXLEY, Sir Julian. En «Function and Taxonomic Importance». Systematics Association, Londres. 1959.

MACGREGOR, M. *Endeavour*, **6**, 109, 1947.

MICHELL, J. *Phil. Trans. roy. Soc., Lond.*, **51**, 454, 1760.

PEYER, B. «Geschichte der Tierwelt». Zurich. 1950.

RAVEN, C. E. «Science and Religion». Cambridge University Press, Londres. 1953.

WIGHTMAN, W. P. D. «The Growth of Scientific Ideas». Oliver and Boyd, Edimburgo. 1950.

Algunas consecuencias de la resonancia neutrónica

J. E. LYNN

En general, los espectros de absorción se saben ahora interpretar en términos de transiciones cuantizadas entre diversos estados energéticos del átomo. Es más reciente y menos conocido el descubrimiento de una interacción análoga entre un núcleo y un neutrón que se comporta como si fuera una onda. Este artículo se refiere a ciertas consecuencias, teóricas y prácticas, de la resonancia entre el núcleo y las ondas neutrónicas.

Tiene importancia el conocimiento de las intensidades de reacción entre neutrones y núcleos. En física nuclear fundamental, proporciona información acerca de la estructura del núcleo; en la teoría de la formación de los elementos, es esencial el conocimiento de las intensidades de reacción con los neutrones para la estimación cuantitativa de cómo se originaron los más pesados. Además tienen gran significado técnico en la teoría de los reactores nucleares.

Tres factores rigen en un sistema físico la intensidad de reacción entre neutrones y núcleos: la densidad de éstos en el sistema, la de neutrones, y la «sección eficaz» para la reacción. Esta magnitud mide la probabilidad de que un neutrón y un núcleo interactúen de modo determinado,[1] y da la misma intensidad de reacción que se obtendría si el núcleo fuese realmente una esfera con la sección transversal dada por la sección eficaz, y la reacción ocurriera por choque del neutrón con dicha esfera. Sin embargo, ha de recordarse que la sección eficaz de reacción variará en general con la velocidad del neutrón y que puede ser muy distinta de la sección transversal geométrica supuesta para un núcleo.

CARACTERISTICAS DE LAS SECCIONES EFICACES PARA LOS NEUTRONES

Dos características importantes y típicas de las reacciones nucleares con partículas de energías medianas y pequeñas son la gran dependencia de la sección eficaz con la energía y la forma cómo varía. La sección eficaz total del uranio-238 para los neutrones sirve de ejemplo, representada en la Fig. 1 en función de la energía. Si los neutrones se consideraran como partículas puntiformes y los núcleos como esferas con radio R a las que se adhieren los neutrones incidentes, o por las que son dispersados, la sección eficaz total sería independiente de la energía y valdría πR^2. Para un núcleo en general es del orden de 2×10^{-24} cm^2,

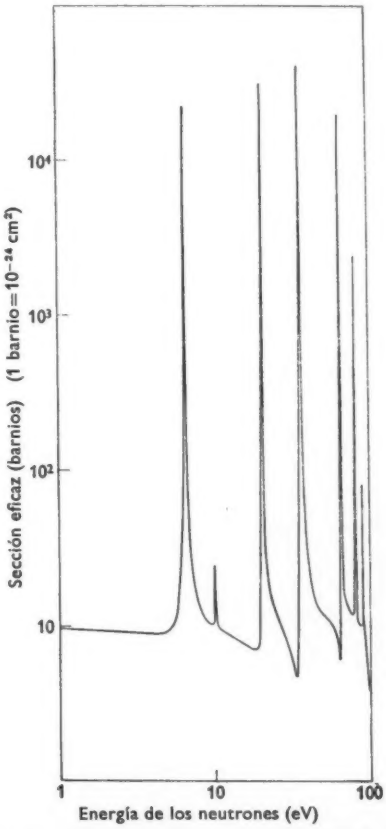


FIGURA 1 – *La sección eficaz total del ^{238}U para los neutrones, en función de la energía de éstos entre 1 y 100 eV.*

[1] La sección eficaz para una reacción es la razón entre el número de procesos realizados (por núcleo y unidad de tiempo) y el número de neutrones que atraviesan la unidad de área en el mismo tiempo unidad.

valor al que se aproxima el caso de neutrones muy rápidos con energías de decenas de millones de electrónvoltios. Sin embargo, cuando se irradia uranio con neutrones de poca energía, la sección eficaz para la mayoría de éstas es unas cuatro veces el valor anterior, y la representación tiene varios máximos estrechos que exceden en varios órdenes de magnitud los valores predichos por la teoría clásica. Este fenómeno aparece por la dualidad onda-partícula de la materia. El sistema núcleo-neutrón tiene dimensiones tan pequeñas que el neutrón lento incidente sobre el núcleo debe ser considerado como una onda; la sección eficaz de una onda incidente sobre una esfera pequeña no resonante de radio R es $4\pi R^2$. Los picos estrechos en la curva de la sección eficaz representan resonancias de la onda del neutrón con el núcleo; la longitud de onda depende de la cantidad de movimiento y por tanto de la energía, y está regida por la conocida relación de de Broglie.

Esta consecuencia de resonancia entre el núcleo y las ondas del neutrón para cierta longitud de onda, es sumamente análoga a las líneas en los espectros de absorción de átomos sometidos a radiación electromagnética, tales como los rayos X o la luz visible. Una hipótesis fundamental de mecánica cuántica es que la energía de un átomo está cuantizada según valores discretos: se interpreta una línea de absorción como el paso de un átomo desde su estado de menor energía (fundamental) a cierto estado superior, por absorción de un cuanto de radiación igual a la diferencia de energía entre ambos estados. En el sistema núcleo-neutrón hay también en la resonancia un paso a otro estado energético. Sin embargo, con la importante diferencia de que este nuevo estado corresponde a un núcleo «compuesto» distinto, debido a la captura del neutrón, casi una unidad de masa más pesado que el núcleo inicial, pero con la misma carga.

DEDUCCION DE PROPIEDADES NUCLEARES A PARTIR DE SECCIONES EFICACES PARA NEUTRONES

¿Cuál es la energía de excitación de los estados observados en las reacciones con neutrones? No es la que lleva el neutrón, pues ésta da únicamente la diferencia energética entre el estado fundamental del blanco y el estado de resonancia del núcleo compuesto. Hemos de referir la energía del núcleo compuesto excitado a la del mismo en estado fundamental y para ello debemos volver al estudio de las masas nucleares. Se sabe hace tiempo que la masa de un núcleo no es exactamente la suma de las masas de los neutrones y protones que lo constituyen. Este defecto de masa se explica por la equivalencia entre masa y energía. Para separar todos los nucleones (neutrones y protones) contra las fuerzas que los ligan, se necesita una energía equivalente al defecto de masa del núcleo. Ha de haber un defecto de masa correspondiente en los sistemas moleculares y atómicos, pero es demasiado pequeño para ser observable; sin embargo, en los núcleos es un efecto proporcionalmente tan grande que la medida de las masas nucleares proporciona un método para la determinación de energías de ligado nucleares.

Se ha hallado que para separar un neutrón del núcleo en su estado fundamental, la energía necesaria es de varios millones de electrónvoltios; la cantidad exacta varía mucho según el núcleo en cuestión. Para los no radiactivos (aquellos con igual número aproximadamente de neutrones y de protones, si son ligeros; y si son núcleos pesados, los que tienen un exceso considerable de neutrones) la energía de separación de un neutrón es 7–8 MeV como promedio, mayor en la «región del hierro» del Sistema Periódico, y bastante menor cerca de la del uranio. La energía de separación de un neutrón disminuye rápidamente al pasar de la región de los núcleos estables hacia la de los que presentan exceso de neutrones. Estos últimos son generalmente emisores de radiación beta y se desintegran emitiendo un electrón y aumentando su carga eléctrica en una unidad en el proceso. Un estudio más detallado de las masas nucleares revela que en ciertos lugares entre los núcleos estables hay bruscas discontinuidades en los valores de la energía de separación. Los núcleos con 8, 20, 28, 50, 82 y 126 neutrones la tienen muy grande: dichos números han sido llamados «mágicos». Los núcleos por encima de un número mágico de neutrones tienen energías de separación pequeñas: ${}^{126}_{82}Pb^{208}$ con 7,37 MeV y ${}^{127}_{82}Pb^{209}$ con 3,86 MeV son un ejemplo. La estabilidad de los núcleos con números mágicos es análoga a la inercia química de los gases nobles; sus propiedades han sido explicadas por una teoría mecanocuántica basada en el modelo de núcleo en capas [10].

Está claro ahora que el núcleo compuesto excitado por el neutrón difiere en energía del mismo núcleo en el estado fundamental por una cantidad igual a la energía cinética del neutrón más la energía de separación del núcleo compuesto. La Fig. 2 aclara las relaciones de energía y también compara con la absorción atómica. Una de las primeras revelaciones de las medidas por absorción de neutrones es el espaciado regular de

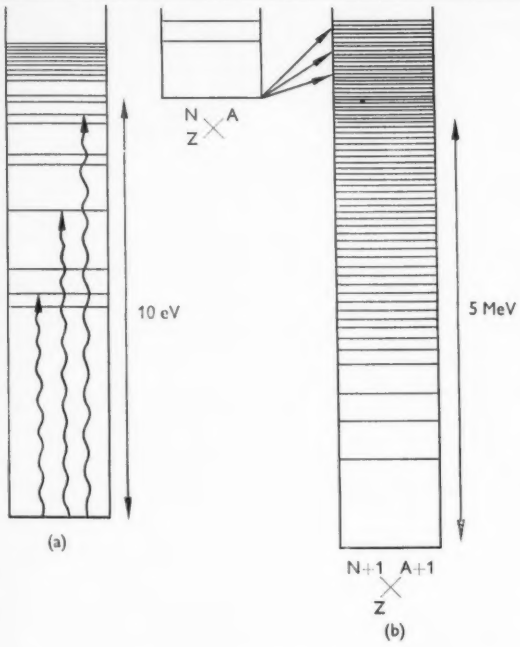


FIGURA 2 – *Diagramas de niveles de energía relativos a:* a) *la absorción de radiación electromagnética (líneas onduladas) por un átomo;* b) *la captura de un neutrón por un núcleo. El estado fundamental del núcleo blanco (representado por* $^{N}_{Z}X^{A}$ *) se halla en un nivel energético igual a la suma del estado fundamental del blanco más la energía de un neutrón libre en reposo. Las flechas indican el aumento de energía debida a la cinética del neutrón.*

los niveles energéticos en núcleos con energías de excitación del orden de algunos MeV. Teóricamente el espaciado de resonancia debería disminuir notablemente con el aumento de la energía de excitación y debe haber también una gran dependencia con el número de nucleones. Las medidas de las secciones eficaces para neutrones de poca energía están de acuerdo con la teoría. Los espaciados de resonancia son muy grandes (algunos cientos de keV) en las secciones eficaces de los núcleos livianos y disminuyen al aumentar el número de masa hasta unos 10 eV para los números superiores a 100; después, la decreciente energía de separación del neutrón casi compensa el efecto del aumento de nucleones. En las regiones de los núcleos con números mágicos se han observado desviaciones notables de esta tendencia general, y el espaciado de resonancia puede ser varios órdenes de magnitud mayor que el promedio. Tales efectos dan valiosa prueba a favor de la teoría de las capas en el núcleo y ayudan a comprender el comportamiento nuclear.

Los estados excitados que proceden de la absorción del neutrón se desintegran luego; a menudo mediante una cascada de radiación electromagnética (rayos gamma), saltando el sistema a través de una serie de estados inferiores, con emisión de energía en cada escalón hasta llegar al estado fundamental del núcleo compuesto. La desintegración puede ser también por emisión de un neutrón que tenga igual energía que el neutrón incidente: es la dispersión elástica. Si la energía del estado excitado es suficientemente elevada, la desintegración puede ser emitiendo un neutrón con energía mucho menor. El núcleo blanco queda en un estado excitado que se calma emitiendo un fotón gamma: es la dispersión inelástica. También puede haber desintegración por pérdida de un protón u otra partícula cargada, y el núcleo residual no es entonces ni el blanco ni el compuesto (Fig. 3).

En la región de una resonancia, la dependencia de la sección eficaz con la energía puede en general expresarse matemáticamente con la conocida

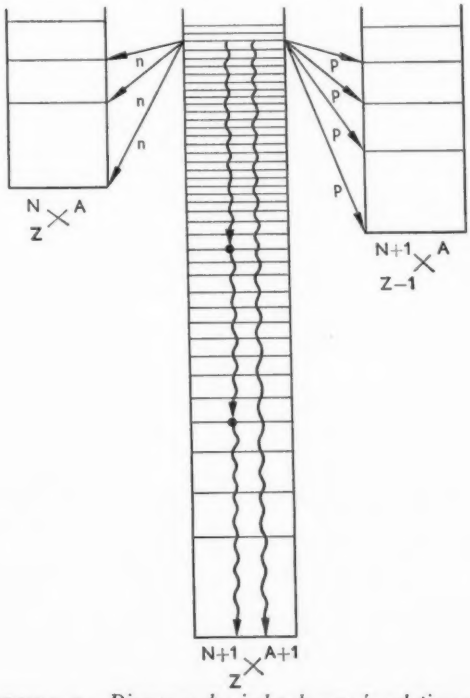


FIGURA 3 – *Diagrama de niveles de energía relativos a la desintegración de un núcleo compuesto por emisión de neutrón, emisión de protón, y radiación electromagnética. En este caso se representa una cascada típica, así como una transición única hasta el estado fundamental del núcleo compuesto.*

fórmula de Breit y Wigner para la dispersión. Intervienen la energía de resonancia y las cantidades conocidas como anchos parciales, que son inversamente proporcionales a las duraciones de los diferentes procesos de desintegración, y son características importantes del estado. La suma de los anchos parciales es igual al ancho del pico de resonancia, y sus relaciones entre sí son las de las secciones eficaces parciales para los distintos procesos.

En física nuclear fundamental la mayor parte de estos estudios se han encaminado al proceso de desintegración por dispersión elástica [1]. Se concluye que los núcleos se comportan respecto de los neutrones como si fueran, ópticamente, un medio muy refractivo de límites ligeramente difusores y con un pequeño grado de opacidad. El recorrido libre medio de los neutrones en el medio (unos 5×10^{-12} cm) sirve de medida de la opacidad; esto ha de compararse con el radio del núcleo, que varía entre 10^{-13} y 10^{-12} cm. La opacidad puede ser menor en los números mágicos [3]. Incluso ha sido posible deducir algo acerca de la forma del núcleo. Para números de masa entre 140 y 200 es necesario suponerlos elipsoidales [2]; esto corrobora un conjunto considerable de pruebas procedentes de otros campos de la física nuclear en el sentido de que numerosos núcleos no son esféricos.

PARTICIPACION DE LOS NEUTRONES EN LA FORMACION DE LOS ELEMENTOS

Entre otras cosas, se exige de las teorías cosmológicas una explicación satisfactoria de la abundancia observada de los elementos. La teoría más satisfactoria actual parece ser que gran parte, si no la mayor, de la formación de los elementos ocurrió y ocurre en las estrellas.

Según este concepto propuesto por varios investigadores [4], los elementos más livianos se originan sobre todo en reacciones entre partículas con carga. Puesto que la combinación de partículas con análoga carga exige una gran energía cinética para superar su repulsión electrostática, tales reacciones pueden efectuarse solamente en estrellas a grandísima temperatura. En la serie inicial de reacciones se consumen protones, formándose helio. En esta etapa y al final de las posteriores con intervención de elementos más pesados, la repulsión electrostática de los núcleos producidos es demasiado grande para permitir la realización de cualquier reacción ulterior, a la temperatura existente en la estrella. Sin embargo, tiene lugar entonces la contracción gravitacional y la energía potencial liberada se convierte en energía cinética de los núcleos, elevando la temperatura estelar y permitiendo la existencia de la reacción siguiente. Tras el consumo del hidrógeno viene el del helio y da lugar a núcleos sencillos del tipo de la partícula alfa, o sea con números pares de protones y de neutrones, como son el carbono, el oxígeno y el neón. Luego la temperatura estelar aumenta tanto que la radiación electromagnética presente puede iniciar reacciones (gamma, alfa). La liberación de partículas alfa que ocurre permite la formación de elementos superiores del tipo de la partícula alfa, hasta el ^{40}Ca e incluso el ^{48}Ti.

La formación de otros núcleos distintos de los del tipo de partícula alfa exige la hipótesis de que la estrella expulse material consumido a un medio de hidrógeno sin consumir, que así resulta suficientemente calentado para reaccionar. Así los

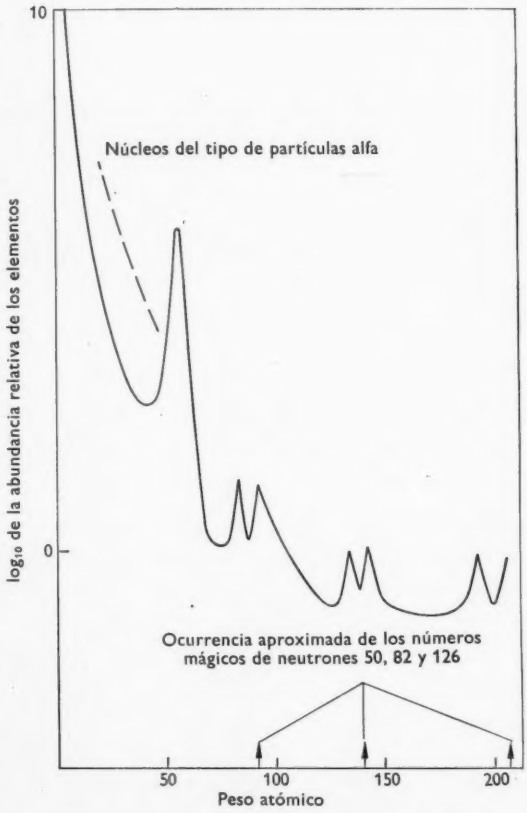


FIGURA 4 – *Representación de los valores de Suess y Urey [5] para la abundancia de los elementos. Obsérvese la preponderancia de los núcleos del tipo de partículas alfa, el gran pico en la región del ^{56}Fe y los picos dobles relacionados con cada número mágico de neutrones por encima del ^{56}Fe. Los núcleos pesados ricos en protones están mucho más abajo y no se representan.*

protones que reaccionan con ^{12}C darán ^{13}C y ^{14}N; con ^{20}Ne darán ^{21}Ne, que se desintegra a ^{21}Na emitiendo un positón. La reacción de partículas alfa con ^{13}C y con ^{21}Ne libera neutrones; pueden realizarse numerosas reacciones nucleares, especialmente a temperaturas estelares elevadas. Una estrella mantenida suficiente tiempo a temperatura superior a unos 3×10^9 °C se convertiría enteramente en ^{56}Fe, el más estable de todos los núcleos y, por ello, el producto final de cualquier serie de reacciones nucleares exotérmicas. Que este proceso de equilibrio se ha efectuado en cierto grado lo apoyan los valores, cuidadosamente estimados, de la abundancia de los elementos, obtenidos por Suess y Urey [5] (Fig. 4).

La formación de los elementos pesados se debe sobre todo a la captura de neutrones, originados en reacciones como ^{21}Ne (γ, n) ^{20}Ne y ^{25}Mg (γ, n) ^{24}Mg. Se cree que intervienen dos mecanismos distintos de captura. El «lento», o proceso *s*, se cree tiene lugar dentro de estrellas rojas gigantes, donde la temperatura es de unos 10^8 °C. La captura de neutrones se hace tan despacio que la formación de núcleos emisores beta va seguida de su desintegración antes de que sea probable que ocurra otra adición de neutrón (Fig. 5). Los núcleos producidos están próximos a la línea de

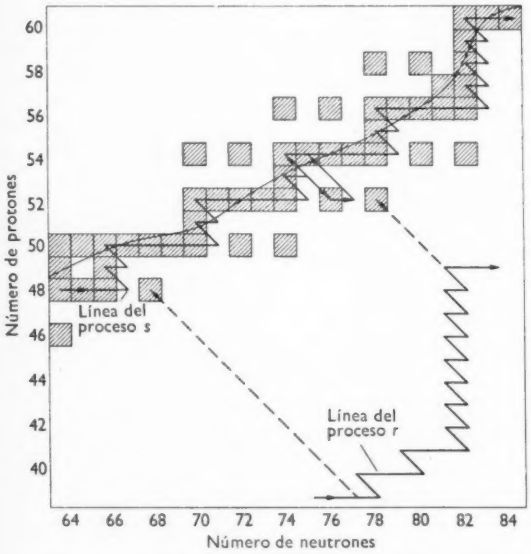


FIGURA 5 – *Comparación entre los procesos lento y rápido de captura de neutrones. Los núcleos estables se representan como cuadrados rayados. ↖ indica desintegración beta, ↘ indica emisión de positón, → indica captura de neutrón, ↖ indica ejemplos de ulterior emisión beta de los núcleos formados en el proceso* r, *que conducen por último a núcleos estables abundantes en protones.*

estabilidad natural (definida para cada número de masa, por el núclido que tiene la máxima energía de ligado por nucleón). Si se alcanza equilibrio entre los miembros de una cadena de núcleos formados en el proceso lento, el grado de acumulación de un núcleo determinado es igual a la velocidad de su desaparición por ulterior captura de neutrón. Entonces es constante para todos los miembros de la cadena el producto del número de núcleos de una especie por su sección eficaz de captura. Incluso si no se logra el equilibrio, este producto debe ser una función suavemente decreciente del número másico.

El proceso *r*, o «rápido», de captura de neutrón se cree que ocurre en los súbitos y breves cataclismos estelares que producen lo que llamamos supernovas. Se cree que en las supernovas hay enorme flujo de neutrones y elevadísima temperatura, y la captura de neutrones se hace sucesiva y rápidamente sin permitir emisión beta. Sin embargo, la creciente incorporación de neutrones en un núcleo llega a detenerse por la disminución en la energía para separar un neutrón; esto permite la reacción opuesta: el arranque del neutrón por fotones, fijándose el equilibrio en cuanto a captura de neutrones en ciertos lugares de la cadena, donde los procesos se detienen temporalmente hasta que hay desintegración por emisión beta. El núcleo que resulta, con mayor carga y menor exceso de neutrones, sigue entonces capturando éstos (Fig. 5). En los números mágicos de neutrones se da un efecto especial: aquí la energía de separación del neutrón disminuye bruscamente, de modo que aparece un efecto en «escalera de caracol» (Fig. 5); cada captura de neutrón va seguida por una emisión beta. La duración respecto de dicha emisión aumenta hacia la parte superior de la escalera y hay una acumulación de núcleos estables que son ricos en neutrones y tienen números próximos a los mágicos. Este efecto explica el pico en el número de masa inferior relacionado con cada número mágico de neutrones en la curva de abundancia de los elementos (Fig. 4).

Para comprobar la teoría del proceso *s* se necesita conocer las secciones eficaces medias de captura de neutrones, a la energía equivalente a la del interior de una estrella gigante roja (neutrones de 10–20 keV). Se han hecho grandes esfuerzos para medir dichas secciones de captura, pero los métodos actuales presentan limitaciones. Sin embargo, el conocimiento de las propiedades de las resonancias con neutrones a energías pequeñas puede usarse para deducir teóricamente

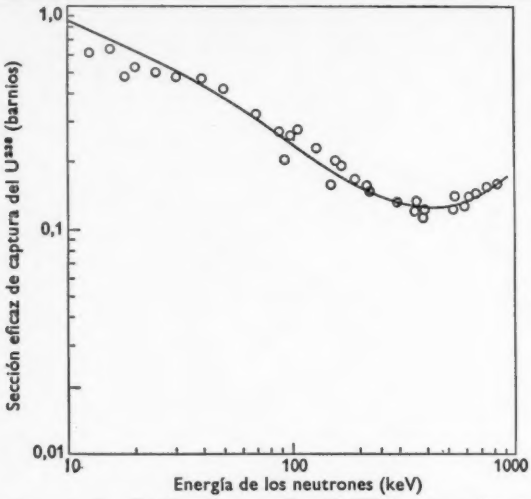


FIGURA 6 – *Sección eficaz media del ^{238}U para captura de neutrones, entre 10 keV y 1 MeV. La curva está calculada con información deducida del estudio de las resonancias para energías pequeñas en la sección eficaz del ^{238}U para los neutrones.*

las secciones eficaces medias de captura para energías superiores, a menudo con gran exactitud [6], hasta donde los valores pueden comprobarse. En la Fig. 6 se representan las secciones eficaces de captura, calculadas y experimentales, del ^{238}U para neutrones hasta 700 keV. En los núcleos con números mágicos de neutrones, las secciones eficaces medias de captura parecen ser particularmente pequeñas. La variación suave del producto de la sección eficaz por la abundancia de los núcleos del proceso lento, implica la abundancia de núcleos con una razón neutrón/protón normal y un número mágico de neutrones; en la curva de abundancias se observan realmente los máximos correspondientes a dichos núcleos.

El proceso *r*, no depende tanto de la sección eficaz como el proceso *s*. No obstante se necesita mejor conocimiento de las secciones eficaces respecto a la captura de neutrones y a la fisión, para establecer suficientes deducciones sobre la formación de los elementos muy pesados (sobre $A \approx 209$) donde el proceso *s* acaba debido a la desintegración por emisión alfa. Se cree que el proceso rápido cesa con la formación de núcleos, como el del ^{254}Cf, que son espontáneamente escindibles, con período corto. La energía liberada en la fisión es tan grande (unos 200 MeV) que del proceso *r* podría esperarse una gran parte de la energía cuya liberación se observa en las supernovas. Presta apoyo a esta teoría la importante observación de que el ritmo con que disminuye la emisión luminosa de las supernovas corresponde con el período (55 días) del ^{254}Cf. Sin embargo, nótese que pueden hacerse otras interpretaciones del período de las supernovas. Una teoría rival atribuye las supernovas a explosiones termonucleares alimentadas por hidrógeno, explicando con el período del ^{7}Be (56 días) la velocidad de disminución de la intensidad luminosa [7]. Se necesitan más datos para resolver este problema; por ejemplo, se ha obtenido notable información adicional en las explosiones termonucleares terrestres [8].

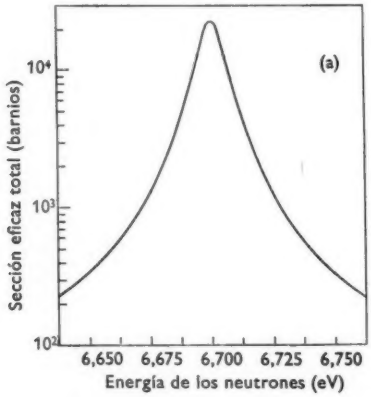
ALGUNOS ASPECTOS DE LA TEORIA DEL REACTOR NUCLEAR

En la fisión de un núcleo pesado provocada por neutrones hay una enorme liberación de energía resultante de la división del núcleo en dos partes aproximadamente iguales, y surgen algunos neutrones, cuya energía es de unos 2 MeV en promedio. La liberación de éstos es fundamental pues pueden provocar otra fisión, iniciando así una reacción en cadena, productora de energía. El ^{238}U (que representa el 99,3% en el uranio natural) es fisible en cierto grado por los neutrones rápidos (con energía superior a 1 MeV) pero a esta energía es también importante la dispersión inelástica. Por ello la mayoría de los neutrones son rápidamente frenados hasta descender del umbral de fisión del ^{238}U (cualquier escisión del ^{235}U es generalmente despreciable debido a su muy pequeña concentración: 0,7%). Si los neutrones son frenados lo suficiente por choques con núcleos livianos, tales como carbono o deuterio, por ejemplo, llegan al equilibrio térmico con sus alrededores y tendrán entonces una energía media de unos 0,025 eV en substancias a la temperatura ambiente. Habrá ahora un grado considerable de escisión de los núcleos de ^{235}U, puesto que su sección eficaz de fisión es muy grande para las energías pequeñas de los neutrones, a causa de las intensas resonancias.

Durante la moderación pueden ser capturados algunos neutrones por los núcleos de ^{238}U del combustible, disminuyendo así la velocidad a la que se efectúa la reacción en cadena. Puesto que la sección eficaz de captura del ^{238}U está confinada en estrechas bandas de resonancia, los neutrones son frenados por una serie de trampas de resonancia. En el proceso de moderación el neutrón pierde en cada choque, como promedio, una fracción dada de su energía, o sea que debe sufrir mayor número de colisiones para salvar una trampa de resonancia de cierto ancho en la zona de baja energía que

cuando se trata de energías elevadas. Como las resonancias a las pequeñas energías tienden a corresponder con mayores secciones eficaces de captura, tienen importancia muy grande en el proceso de frenado. Sin embargo, incluso las resonancias para neutrones con energías sobre 1 keV no son despreciables en el frenado de neutrones por captura [9].

Para aminorar el efecto de esta captura de neutrones es deseable separar lo más posible el material moderador del combustible; la inclusión de las barras de combustible en el moderador reduce la captura por resonancia, debido a un efecto de autoprotección, representado en la Fig. 7, que en *a* muestra una típica sección eficaz de captura por resonancia; *b*, *c* y *d* representan la transmisión de neutrones a través de placas de materia con espesores crecientes. Se ve que los neutrones de la energía de resonancia no son transmitidos pasado un cierto espesor crítico, o de otro modo, el material no participa en la captura de aquellos neutrones a partir de su espesor crítico.



En la Fig. 8 puede verse la captura de neutrones en función del espesor de la placa.

Hasta aquí se ha supuesto implícitamente en el estudio de las secciones eficaces para la resonancia de neutrones en función de la energía que está en reposo el núcleo incidido, de modo que es sólo la energía o la velocidad del neutrón lo que ha de considerarse. En la práctica, naturalmente, los átomos mismos están en agitación térmica. Por ello, cada núcleo tendrá diferente sección eficaz para los neutrones de una misma energía, según sea la correspondiente al movimiento relativo entre núcleo y neutrón. La sección eficaz efectiva de los núcleos del conjunto se obtiene por el promedio de aquellas secciones eficaces para todas las distintas velocidades relativas posibles que permita la agitación térmica. En las inmediaciones de las resonancias estrechas de los núcleos pesados, las secciones eficaces efectivas pueden ser muy distintas de las halladas con el núcleo estacionario; la Fig. 9 representa un caso típico. El ensanchamiento adicional de la resonancia en la sección eficaz efectiva se conoce como ensanchamiento de Doppler.

Este ensanchamiento tiene importancia en cuanto a la seguridad de un reactor. Evidentemente el ensanchamiento y mengua de la altura del máximo de una sección eficaz efectiva de resonancia aumentan con la temperatura, lo que acarrea en el conjunto del material una autoprotección disminuida respecto a los neutrones. Si el ritmo de las reacciones es creciente, la temperatura tenderá a subir. Con esta subida, disminuye el efecto de autoprotección del ^{238}U para las capturas por resonancia y hay un aumento en la cuantía de las capturas de neutrones durante la moderación, dejando llegar menos neutrones a las energías

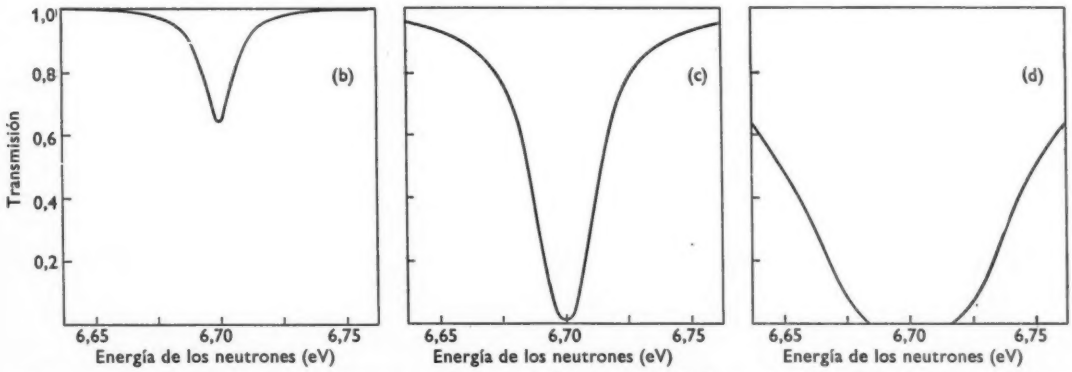


FIGURA 7 – a) *La sección eficaz para una captura por resonancia típica y la transmisión resultante de un haz de neutrones a través de placas, cada vez más gruesas, en función ambas de la energía del neutrón*; b) *corresponde a una placa con* 2×10^{19} *núcleos/cm*^{2}, c) *con* 2×10^{20} *núcleos/cm*^{2}, *y* d) *con* 2×10^{21} *núcleos/cm*^{2}.

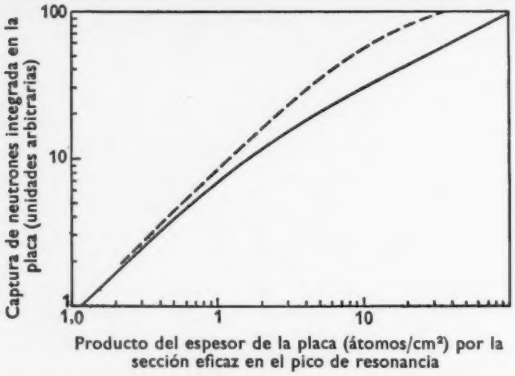


FIGURA 8 – *Captura de neutrones integrada en un haz de éstos que atraviesa una placa de sustancia con una resonancia en su sección eficaz de captura. La captura se representa en función del espesor de la placa, y muestra el efecto autoprotector de la sustancia en conjunto. La línea llena es para el material cuyo ensanchamiento de la sección eficaz efectiva con la temperatura es despreciable. La línea de trazos es típica del caso donde el ensanchamiento con la temperatura es importante, como por ejemplo la resonancia del* ^{238}U *para* 6,7 *eV a unos* 1500°*C.*

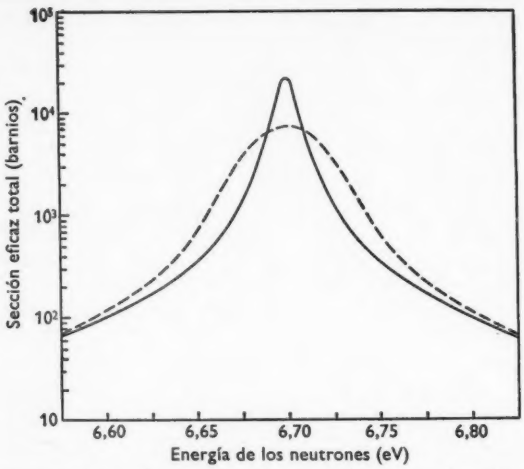


FIGURA 9 – *Comparación de la verdadera sección eficaz sobre una resonancia para un núcleo estacionario (línea llena), con la sección eficaz efectiva ensanchada por efecto de Doppler en un conjunto real de núcleos (línea de trazos). Este ejemplo es la resonancia del* ^{238}U *para* 6,7 *eV, con uranio a la temperatura ambiente.*

de la agitación térmica y a causar fisiones. El resultado es una restricción en el funcionamiento del reactor.

Esta sencilla consideración del efecto del coeficiente de temperatura no vale para los reactores con combustible enriquecido. En primer lugar no sólo habrá captura por el componente no fisible del combustible (^{238}U o ^{232}Th) durante el frenado de neutrones, sino que habrá captura y fisión en las resonancias del isótopo fisible presente. Un caso extremo sencillo es el de un combustible hipotético, puramente fisible, con resonancias uniformes, todas de igual anchura y con la misma razón entre las secciones eficaces de captura y de fisión. Con el aumento de temperatura, disminuye la autoprotección, y crece el grado de absorción en la región de resonancia. El que aumente o disminuya la cuantía total de las reacciones, depende de cómo se reparta la absorción de resonancia entre escisión (que produce neutrones) y captura (que los resta). Si predomina la fisión en la región de resonancia, cada vez se añaden más neutrones al sistema y tiende a introducirse un coeficiente de temperatura positivo en el reactor, lo que es indeseable. Para impedirlo es necesario añadir material no fisible, como ^{238}U, con resonancias estrechas para la captura. Es complicado el cálculo de la cantidad de ^{238}U necesaria, debido a que distan de ser uniformes las resonancias en las secciones eficaces de ambos isótopos, fisible y no fisible. Los anchos de radiación son de ordinario muy aproximadamente iguales de una resonancia a la siguiente pero los anchos de fisión varían al azar. Esto es favorable pues implica que las resonancias más estrechas en la sección eficaz del isótopo fisible tienen las mayores razones entre captura y fisión. De aquí que las capturas por resonancia sean sumamente afectadas por la temperatura, y exista una tendencia en el ritmo de pérdidas de neutrones por captura a aumentar más rápidamente con la temperatura que el ritmo de producción de neutrones por la fisión.

REFERENCIAS

[1] FESHBACH, H., PORTER, C. E. y WEISSKOPF, V. F. *Phys. Rev.* **96**, 448, 1954.

[2] CHASE, D., WILETS, L. y EDMONDS, E. R. *Ibid.*, **110**, 1080, 1958.

[3] LANE, A. M., LYNN, J. E., MELKONIAN, E. y RAE, E. R. *Phys. Rev. Letters*, **2**, 424, 1959.

[4] BURBIDGE, E. M., BURBIDGE, G. R., FOWLER, W. A. y HOYLE, F. *Rev. mod. Phys.*, **29**, 547., 1957

[5] SUESS, H. E. y UREY, H. C. *Ibid.*, **28**, 53, 1956.

[6] LANE, A. M. y LYNN, J. E. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *A*, **70**, 557, 1957.

[7] GRYZINSKI, M. *Phys. Rev.*, **115**, 1087, 1959.

[8] CAMERON, A. G. W. *Canad. J. Phys.*, **37**, 322, 1959.

[9] MORTON, K. W. «Proceedings of the Second Geneva Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy», **16**, 187, 1958.

[10] HAMILTON, J. *Endeavour*, **19**, 163, 1960.

La aerobiología de la intemperie

P. H. GREGORY

La aerobiología es la ciencia que estudia los microorganismos de la atmósfera. Comprende dos ramas: la aerobiología de la vivienda se ocupa, ante todo, de la higiene del aire; la aerobiología de la intemperie interesa especialmente a fitopatólogos y alergistas. Este artículo se refiere a la segunda rama y revista recientes investigaciones considerando el problema de la detección de la flora microbiana de la atmósfera.

Bien saben los enfermos de la fiebre del heno que el aire de puertas afuera contiene polen de muchas especies de plantas. Pero el aire contiene también otras muchas partículas de origen vegetal, tales como esporas de helechos, hongos, bacterias y levaduras, además de quistes de protozoos; todas ellas pueden asimismo producir alergias. Algunas especies de todos los principales grupos taxonómicos de plantas hacen llegar sus esporas a las capas turbulentas de la atmósfera [5]. Otros organismos emplean procedimientos dispersivos diferentes, aprovechándose por ejemplo de las aguas o del transporte animal, y sus esporas rara vez pasan al aire.

El estudio sistemático de la microbiología atmosférica tuvo sus comienzos hace un siglo, en un momento en que preocupaba encontrar los focos de enfermedades infecciosas como el cólera y la fiebre tifoidea. Hoy se sabe que el aire de puertas afuera no constituye una seria fuente de infección para el hombre, que no es el causante de las más temibles enfermedades del género humano y animales domésticos, si bien recientes estudios en América, muestran que los gérmenes de la histoplasmosis y otras enfermedades fúngicas del hombre son transportadas por el viento. En todo caso el aire libre es portador de polen — principal enemigo de los que padecen fiebre del heno — y de esporas infectivas de muchas enfermedades vegetales, por ejemplo las royas y carbones de los cereales.

Se inició la aerobiología con los estudios del bacteriólogo Pierre Miquel (1850–1922), verificados en el observatorio parisiense de Montsouris, donde durante todo el último cuarto del pasado siglo puso en práctica sus métodos para analizar a diario el contenido microbiano del aire. Sin embargo, el primero en impulsar conscientemente la aerobiología como rama científica independiente fue el fitopatólogo Roger Meier (1893–1938). Desgraciadamente este investigador se malogró en un vuelo a través del Pacífico, cuando apenas tenía publicados sus primeros trabajos; pero éstos sirvieron para estimular análogos estudios en los Estados Unidos. Otro importante progreso en la historia de la aerobiología es la tesis que K. M. Stepanov, de Leningrado, publicó en 1935 [8]. Con ser aún escasos nuestros conocimientos, gracias a los trabajos de éstos y otros investigadores de tres generaciones, es hoy posible dar una idea de la circulación de esporas vegetales y microbios en la atmósfera, y evaluar su repercusión en medicina, agricultura y demás ciencias biológicas.

METODOS DE LA AEROBIOLOGIA

Mucho de lo que hoy sabemos de la flora microbiana de la atmósfera (que incluye polen de fanerógamas, y que para abreviar llamaremos aquí «esporas aéreas») se ha logrado examinando el depósito recogido en láminas pegajosas expuestas a los cuatro vientos. Pero es difícil hacer interpretaciones cuantitativas con tan primitivo método, debido a que la captura depende de factores demasiado variables. El estudio cuantitativo de esporas aéreas requiere el uso de algún aparato eficaz que las retenga con referencia a un volumen medido de aire. Tales aparatos hacen pasar el volumen conocido de aire a través de un filtro, o bien someten la masa gaseosa a una aceleración tal, que las partículas contenidas vayan a adherirse a una superficie pegagosa, o son absorbidas por cierto líquido.

Para hacer pasar el aire por el filtro se dispone de tomamuestras con filtro de tapón aspirable (f. de Pasteur) y de los nuevos filtros de membrana. Existen otros dispositivos que impelen aire por un inyector dirigido hacia la superficie pegagosa. El tomamuestras electrostático de la General Electric, se basa en el principio de recolección de polvo enunciado por Oliver Lodge. Cada uno de estos diferentes dispositivos tiene sus ventajas e inconvenientes, pero cualquiera de ellos puede suministrar datos cuantitativos si es utilizado con pericia. En los estudios a la intemperie no es, en general,

necesaria una gran exactitud operativa, pues conforme a resultados ya conseguidos, el contenido de esporas varía enormemente en tiempo y espacio.

Es difícil comparar resultados obtenidos con diferentes métodos. Algunos tomamuestras depositan directamente las partículas sobre un portaobjetos, donde pueden ser clasificadas y recontadas al microscopio, obteniéndose los totales de esporas y de granos de polen separadamente. Otros métodos recurren al cultivo de bacterias, levaduras, micelios o mohos tomados del aire, siendo entonces muy precisa la determinación de la fracción de especies cultivadas; pero, frente al método visual, éste último tiene el inconveniente de que no permite conocer el número total de organismos, pues una parte de estos no son viables en el cultivo. Algunos investigadores han combinado ambos métodos.

LAS ESPORAS AEREAS CERCA DEL SUELO

Lo que más abunda en capas contiguas al suelo son esporas de bacterias y hongos. Cuando florece alguna planta común, el polen puede temporalmente sobrepasar en masa a las esporas y hongos, pero nunca en cuanto a número de partículas. Un 90% de las especies de fanerógamas es normalmente polinizado por insectos, y el 10% restante son plantas adaptadas a la polinización por el viento. Pero estas especies anemógamas abundan extraordinariamente y, en conjunto, emiten enormes cantidades de polen, de modo que el tracto respiratorio de personas propensas a la fiebre del heno puede actuar como sensible indicador de las épocas de floración. En países templados hay cada año tres épocas de polinización aérea. Primero viene la del «polen arbóreo», en primavera, que comienza al abrirse los amentos de las frondosas, y acaba con la floración de las coníferas; afortunadamente son raras las personas sensibles a este polen arbóreo, especialmente al de los pinos. Después, a comienzos del verano, viene el «polen del pasto», culpable del máximo número de enfermos alérgicos. Por último, en el verano tardío, cunde el polen mixto, llamado a veces «polen de malas hierbas». Entre estas figuran las ortigas en Europa, y las temibles especies de *Ambrosia* en Norteamérica. En ese continente, un aire limpio de polen de ambrosia es higiénicamente tan importante como el sol en Inglaterra.

La determinación de bacterias aéreas sólo es posible por el método de los cultivos, de modo que las propias limitaciones del método nos impiden averiguar cuántas sean las bacterias que quedan sin detectar. A causa de esto, resulta imposible la comparación rigurosa del número total de bacterias aéreas con el de hongos. Pero no hay duda que el número de mohos cultivables suele ser muy superior al de bacterias. Ya Miquel quedó desconcertado por el inmenso número de mohos aéreos. Sus primeros resultados arrojaron 700 bacterias y 30 000 mohos en cada metro cúbico; pero cuando más tarde dicho autor cambió de tipo de cultivo y adoptó otro no azucarado y poco apropiado para el desarrollo de mohos (iniciando así una práctica seguida después por muchos investigadores), las cifras medias resultaron ser 300 bacterias y 200 mohos por metro cúbico. Las bacterias del aire comprenden numerosos micrococos y bacilos, además de una sorprendente proporción de bacterias no esporígenas.

He aquí el resultado de un método visual aplicado en la Estación Experimental de Rothamsted y referido a esporas de hongos depositadas sobre un portaobjeto durante una constante toma de muestras con manga Hirst en un campo de labor [4]. Organismos dominantes en el aire libre (de día y en meses cálidos) fueron las esporas de *Cladosporium*, género de hongos saprofitos que vive sobre materia vegetal marchita; a casi el nivel del suelo, en junio y octubre de 1952, su promedio por metro cúbico de aire fue de 5800. La dominancia de *Cladosporium* es conocida también en otras muchas regiones del globo, y se ha visto plenamente confirmada con el método de cultivo y el examen de depósitos de polvo. Son necesarios nuevos estudios para averiguar cómo *Cladosporium* es aerotransportable. En segundo lugar (Rothamsted) vienen las esporas llamadas balistoesporas, emitidas por diversas clases de hongos, tales como los esporobolomicetos (levaduras que prosperan sobre la superficie de hojas vivas y decadentes) y las setas comestibles y venenosas; representan en promedio 4400 elementos por metro cúbico, y predominan durante la noche. Por cierto que las balistoesporas tardaron en ser reconocidas como numéricamente importantes, por dos razones: primera, que estas diminutas esporas se recolectaban mal con las láminas pegagosas usadas en los comienzos de la aerobiología; segunda, que la mayoría de los microbiólogos no se habían familiarizado con las esporas de los hongos superiores. Las esporas de diversos hongos fitopatogénicos, tales como royas, tizones y mildiús existen a menudo en gran cantidad en el aire, pero son — como el polen — un componente muy estacional.

Las cifras arriba dadas se refieren a frecuencias medias sobre un período que comprende bastantes semanas de constante determinación. Las medias

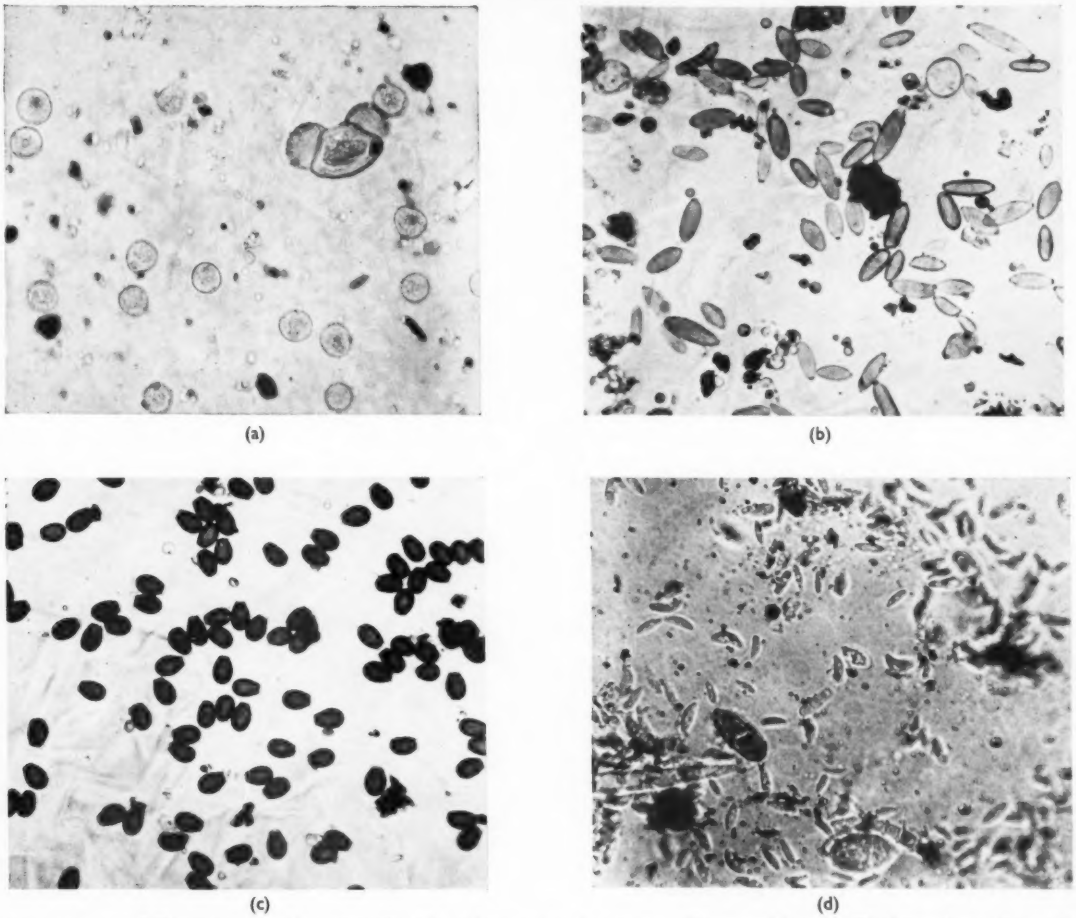


FIGURA 1 – *Microfotografías de esporas de polen y hongos en aire a los* 0,5 *m del suelo, cerca de un arroyo, en la Estación Experimental del Imperial College, Sunninghill, Berkshire, verano de* 1958. (a) 15 *de junio, a las* 17.00. *Polen de pino (con dos sacos de aire) y hierbas* (×230); (b) 16 *de junio, a las* 10.00. *Esporas del moho* Cladosporium (×450); (c) 18 *de junio, a las* 2.30. *Esporas del hongo* Ganoderma applanatum (×450); (d) 19 *de junio, a las* 4.00. *Esporas de la levadura* Sporobolomyces (×1000).

horarias suelen ser mucho mayores o menores. Por ejemplo, en *Cladosporium* alcanzan hasta 100 000 y en *Sporobolomyces* hasta un millón por metro cúbico. Y se sabe que la fluctuación a corto plazo puede ser aún mayor: así, en tomas locales de un par de minutos, el polen de *Ambrosia* ha arrojado concentraciones de más de 10 millones por metro cúbico [2].

Miquel estimó que había 0,1 «huevos» de protozoos por metro cúbico, pero estudios posteriores de Puschkarew, basados en menos tests, sugieren una cantidad diez veces mayor. Las algas azules y verde-azuladas pueden dar en promedio 1–10 por metro cúbico, y las esporas de los mixomicetos son probablemente menos abundantes aún. Las de helechos y musgos son muy abundantes por cortos períodos.

Se ha determinado una fluctuación diurna característica en los pocos organismos mejor estudiados; igual sucede con el polen del pasto. Miquel registró dos máximos y dos mínimos en el ciclo diurno de la cantidad de bacterias tomando en Montsouris muestras de hora en hora durante un año. No se ha vuelto a ensayar nada similar con bacterias desde 1884, de modo que estos estudios debieran ser repetidos y ampliados.

Las esporas de los distintos hongos denotan diferentes periodicidades diurnas, aunque lo normal es que cada tipo se caracterice por un solo máximo y mínimo. Por ejemplo, en Inglaterra,

las esporas del cáncer de la patata (*Phytophthora infestans*) alcanzan la mayor abundancia poco antes del mediodía, mientras que las de *Cladosporium* y ciertas royas, dan el máximo por la tarde. En cambio, las de *Sporobolomyces* y, en general, las de hongos basidiomicetos, son más abundantes durante la noche. Aún se sabe poco sobre las diferencias entre los ciclos en distintas partes del globo. En los ciclos diurnos mencionados se acusa sin duda el influjo de factores meteorológicos en la liberación y dispersión de las esporas, mecanismo que sólo se conoce bien en algunas especies de hongos. Así, dos importantes hongos fitopatógenos, el *Ophiobolus graminis* y la *Venturia inaequalis*, que causan respectivamente la merma del trigo y la roña del manzano, condicionan su propia emisión de esporas a que el suelo esté humedecido con lluvia o rocío, y las esporas sólo abundan en el aire después de haber llovido.

EL ORIGEN DE LAS ESPORAS AEREAS

Pese a contrarios pareceres, es seguro que la mayoría de las esporas aéreas provienen de fuentes esporíferas que yacen en la superficie del suelo (como son los residuos vegetales en general) pero no del suelo en sí. Queda la duda sobre el origen de protozoos, bacterias y levaduras que no sean esporobolomicetos. El aire es pobre en esporas de seres edafícolos. El polvo del suelo que levanta el viento debe ser la fuente principal que nutre la atmósfera de bacterias y levaduras; en climas templados parece notarse correlación entre los máximos estacionales de bacterias atmosféricas por una parte y el laboreo primaveral de tierras o el predominio de fuertes vientos, por otra. Es seguro que también las salpicaduras de aguas marinas y dulces, y del suelo húmedo, contribuyen a que organismos superficiales se conviertan en aerotransportables.

LAS ESPORAS AEREAS SOBRE EL OCEANO

Tomas recogidas desde navíos, demuestran que con viento hacia mar la presencia de esporas continentales se acusa a bastantes cientos de kilómetros de la costa, mientras que en pleno oceano el aire de las capas bajas se halla casi libre de contaminación microbiana. Por otra parte, la proporción de las bacterias aerotransportadas que requieren la presencia de cloruro sódico para prosperar aumenta con la proximidad del mar. A veces es posible hallar notable cantidad de polen a bastantes kilómetros de la costa, pero este elemento decrece en concentración por lo regular mucho más deprisa que los mohos y bacterias. Y sin embargo, el polen arbóreo va a caer normalmente en exigua aunque apreciable cantidad en medio del mar, sobre las costas de Groenlandia, y sobre las remotas islas oceánicas, después de ser transportado cientos o miles de kilómetros por el viento.

LA ALTA TROPOSFERA

Mediante cometas, globos o aeroplanos provistos de tomamuestras se ha podido comprobar la existencia de microbios en altas capas de la atmósfera. Teóricamente, la concentración en esporas debiera decrecer logarítmicamente con la altura, si se postula que las esporas en suspensión que parten del suelo alcanzan cierto equilibrio con la interacción de dos fuerzas antagónicas, que son la ascensional, motivada por la turbulencia atmosférica, y la gravitatoria. En la práctica, la concentración decae primero por lo regular con la altura sobre el nivel del suelo. A veces, o por mejor decir, promediando las veces, el decrecimiento cumple aproximadamente la ley logarítmica hasta una altura de varios miles de metros. Pero las condiciones ideales de la variación logarítmica raras veces se realizan en la atmósfera, y lo cierto es que a menudo hay una zona donde aumenta la concentración en un nivel situado quizá a dos o tres mil metros. Este hecho dio pie a especulaciones sobre la llamada «zona biótica» de la alta atmósfera. Puede explicarse sencillamente la cosa, en parte por el dispar historial de distintas masas aéreas a diversas alturas, y en parte por el lavado que la lluvia realiza en las capas más bajas. Se ha acusado a veces elevada concentración microbiana por debajo del nivel de las nubes, dándose como probable que las esporas lleguen a concentrarse en ese nivel al quedar adheridas a gotículas suspendidas en las corrientes ascendentes de convección propias de los cúmulos. El efecto es particularmente notable sobre el oceano, donde no hay constante renovación de esporas aéreas a partir de una capa superficial.

Falta verificar sistemáticas mediciones de la concentración de esporas a diferentes alturas sobre los oceanos. A base de observaciones ya recogidas desde buques o aeroplanos parece deducirse que el gradiente es allí a la inversa que sobre el continente. En mar abierto, las capas superficiales de aire contienen por excepción algunos microbios, mientras que a varios miles de metros de altura puede acusarse una concentración considerable de bacterias, esporas y polen. Por ejemplo, según S. M. Pady y colaboradores [6, 7], se encuentran sobre el Atlántico Norte concentraciones de cientos de miles por metro cúbico a alturas de

3000 metros, en tanto que G. Erdtmann [3], al tomar muestras a bordo, halló valores diez o cien veces menores. Admitimos, pues, que las masas de aire toman en el continente su carga esporífera y transportan ésta por encima del oceano, y que las capas inferiores van siendo clarificadas al pasar sobre las aguas, en parte por sedimentación y en parte por depuración con las lluvias.

No se explica por qué continúa hoy sin explorar el contenido microbiano de capas atmosféricas superiores a la tropósfera. Al parecer sólo se conocen los ensayos verificados en la estratosfera por el globo *Explorer II* en 1935.

EL PROCESO DISPERSIVO

En párrafos anteriores se dieron a conocer concentraciones atmosféricas que son la consecuencia de muy variables fuentes esporígenas. Vamos ahora a considerar el problema de la distribución espacial de esporas liberadas en el aire a partir de un foco esporígeno aislado. Es de sentido común suponer que la contaminación de aire y suelo decrezca a medida que aumenta la distancia horizontal al foco. Este es el principio elemental que informa corrientemente a la práctica [9]; en ello se basa el hecho de aislar los cultivos enfermos de los sanos; los enfermos de fiebre del heno, de los focos polínicos; y así también se evita que estirpes selectas de plantas seminíferas se contaminen genéticamente con polen extraño. Eligiendo una escala lineal, el gráfico del decrecimiento de la contaminación viento a favor a partir de un foco esporígeno produce una típica curva exponencial. Los varios mecanismos que intervienen en este característico «gradiente de infección» son probablemente según su importancia: 1) dispersión turbulenta tridimensional de la masa aérea cargada con esporas o polen, esto al actuar otras masas de aire puro sobre aquélla mientras es llevada por el viento; 2) una notable pérdida de partículas en la nube esporífera por sedimentación sobre suelo, vegetación y otras superficies, ante todo en las primeras fases del desplazamiento, cuando la nube está aún concentrada cerca del nivel del suelo; y 3) pérdida de viabilidad, que puede o no afectar el resultado. En rigor, el foco esporígeno no es un punto, de modo que su tamaño y forma influyen también en el gradiente dispersivo; la concentración es superior y decae menos rápidamente si el foco es un área algo extensa en vez de un punto. Y de acuerdo también con lo previsible, la elevación del foco sobre el suelo hace disminuir la pérdida por sedimentación en las cercanías del origen.

Para predecir la concentración de la nube esporígena más allá de una distancia de desplazamiento dada, se precisa el previo planteamiento teórico de los muy difíciles problemas sobre turbulencia atmosférica; ha de poseerse también una teoría adecuada sobre sedimentación. Hoy, diversos teorizantes predicen diferentes concentraciones para una distancia dada, aunque todos concuerdan con la experiencia y observación, en que es de esperar una rápida caída en concentración a medida que crece la distancia al foco esporígeno. Se sabe, por ejemplo, que el 90% de esporas del hongo *Tilletia tritici* (caries del trigo) o del licopodio sedimentan dentro de los 100 metros del foco cuando son liberadas casi al nivel del suelo. Teóricamente, las partículas menores que las del ejemplo deberán depositarse más lentamente, aunque apenas hay experimentos con que probarlo.

Surge aquí una aparente paradoja. Dada la tan elevada cuota de sedimentación en las cercanías del foco, el efecto de un foco puntual a distancias de unos pocos cientos de metros debe ser despreciable; sin embargo, la concentración de microorganismos en las altas capas de aire y a buenas distancias mar adentro es cosa notable. La más convincente explicación de esto es que, aunque la distante «cola» de dispersión a partir de cada foco aislado sea indudablemente casi nula, la cantidad de esporas en altas capas sobre el oceano debe ser la suma de las colas de dispersión de todos los focos aventados en el continente.

El tipo real de dispersión aerotransportada, difiere así del tipo teórico estadístico referido a un foco puntual por presentar dos tramos de concentraciones crecientes: uno muy cerca de los orígenes, y otro a gran distancia, los cuales quedan ligados por concentraciones mínimas en el tramo intermediario [1].

EL FINAL DEL PROCESO DISPERSIVO

Se ha podido seguir el gradiente infectivo de algunos patogénicos vegetales por distancias de centenares de kilómetros. En algunas royas las esporas viajan cada año muchos cientos de kilómetros a través de la India y Unión Soviética; en Norteamérica se ha acusado una migración hacia el Norte al comienzo del verano, y en sentido contrario durante el otoño. A pesar de ello, las especies y razas de royas no son cosmopolitas; parece pues que oceanos, desiertos y grandes cadenas montañosas actúan como barreras infranqueables.

Además de la muerte por desecación o irradiación, el vuelo de los microbios aerotransportados

encuentra un final por sedimentación sobre el suelo y por lavado del aire con lluvia, nieve o granizo. Todavía no se ha estudiado sistemáticamente este lavado del aire, faltando aún técnicas apropiadas a tal objeto. Los resultados del examen de granizadas son quizá especialmente inequívocos, debido a que las piedras de granizo pueden ser esterilizadas para eliminar posibles contaminaciones con el suelo. Las gotas de lluvia embeben a su paso una importante fracción de microbios aéreos, de modo que, en conjunto, las precipitaciones atmosféricas conducen al suelo una rica flora de bacterias, esporas varias, y polen. Puede comprobarse que el agua caída del cielo no es estéril, haya sido tomada sobre el continente, sobre el oceano, o sobre regiones polares. Lo más probable para una espora es que sedimente en seco sobre el suelo o choque sobre otra superficie a no mayor distancia que algunos cientos de metros del origen; pero una vez lanzada a viajar por la atmósfera, el final más probable de toda espora aérea es su precipitación al suelo con la lluvia.

Las condiciones reinantes más allá de nuestra atmósfera parecen ser incompatibles con la vida de microorganismos indefensos. Si algún día se hacen ensayos para detectar esporas vivientes en los espacios interplanetarios, habrá que idear nuevas técnicas especiales, muy diferentes de los métodos actualmente usados por la aerobiología. Pero, en cambio, la experiencia ganada en el estudio aerobiológico de nuestra atmósfera podría ser útil para investigar la atmósfera de otros planetas. Los métodos tomamuestras para aerosoles de ciertas células bacterianas practicados puertas adentro, resultan inadecuados para esporas grandes a la intemperie, sobre todo si queremos tomar continuadamente muestras en cultivo.

Hoy por hoy, muy poco sabemos del interesante fenómeno de la circulación atmósferica de microorganismos en nuestro planeta, con sus derivaciones de interés agrícola, médico y teórico. Es lástima que sólo haya comenzado apenas la exploración de nuestra propia atmósfera y que sigamos desprovistos de los medios técnicos necesarios, en una época en que ya acucia la posibilidad de estudiar la atmósfera de otros planetas.

REFERENCIAS

[1] BATEMAN, A. J. *Heredity*, **4**, 353, 1950.
[2] DURHAM, O. C. *J. Allergy*, **18**, 231, 1947.
[3] ERDTMANN, G. «An Introduction to Pollen Analysis». Chronica Botanica, Waltham, Massachusetts. 1943.
[4] GREGORY, P. H. y HIRST, J. M. *J. gen. Microbiol.*, **17**, 135, 1957.
[5] INGOLD, C. T. *Endeavour*, **16**, 78, 1957.
[6] PADY, S. M. y KAPICA, L. *Mycologia*, **47**, 35, 1955.
[7] PADY, S. M. y KELLY, C. D. *Canad. J. Bot.*, **32**, 202, 1954.
[8] STEPANOV, K. M. Труд. Защ. Раст. Ленинград (Сер. 2, Фитопат.), **8**, 1, 1935.
[9] WOLFENBARGER, D. O. *Lloydia*, **22**, 1, 1959.

Revista de libros

EDUCACION

PAYNE, G. L.: *Britain's Scientific and Technological Manpower*. XIII + 466 págs. Oxford University Press, Londres. 1960. 45s.

Los norteamericanos son incansables perseguidores de datos; el presente volumen es un ejemplo magnífico. Es un compendio en el que se recoje información sobre la enseñanza científica y técnica en la Gran Bretaña, sobre el número de estudiantes, la distribución de científicos y técnicos en la industria, la enseñanza y la administración pública. Se basa sobre publicaciones oficiales y reúne en forma compacta y lúcida gran cantidad de datos que todo el mundo sabe se hallan recojidos en alguna parte, pero sin saber dónde. Veamos un ejemplo de la información contenida en este libro: el número de químicos y físicos graduados que han emigrado de la Gran Bretaña al Canadá y Estados Unidos desde 1950 a 1956; el reclutamiento anual de científicos e ingenieros en cincuenta sociedades de construcción; la distribución en el período 1948–55 de los escolares nacidos en 1936 entre los distintos tipos de enseñanza secundaria; la proporción de estudiantes universitarios que en el período 1938–58 han vivido en sus casas, en residencias o en pensiones; la proporción de candidatos en los diferentes tipos de examen; un análisis de los proyectos actualmente en construcción en las distintas universidades; los presupuestos para investigaciones en la Gran Bretaña. Naturalmente, estos datos perderán actualidad; pero aún entonces el libro será útil guía para la búsqueda de otros datos, ya que contiene una bibliografía muy completa. El texto resume adecuadamente algunos estudios recientes sobre ciertos problemas referentes a la enseñanza técnica. Hay también un buen índice. En suma, éste es un admirable libro de consulta.

E. ASHBY

FISICA

LANDAU, L. D. y LIFSHITZ, E. M.: *Course of Theoretical Physics*. Vol. VI, *Fluid Mechanics*. (Traducción de J. B. Sykes y H. W. Reid.) x + 536 págs. Pergamon Press Ltd., Londres. 1959. 105s.

Volumen VI del «Curso de Física Teórica» que ha de completarse en nueve, obra de dos notables físicos rusos, presenta un admirable sumario

de nuestros conocimientos sobre la dinámica de los fluidos tratada como una rama de la física teórica más bien que como un mero ejercicio de análisis matemático. El tema está expuesto con concisión y claridad y es de carácter dogmático más bien que especulativo. Las referencias históricas son escasas y se limitan generalmente a las investigaciones rusas; Zhukovskii y Chaplygin aparecen mencionados (como es justo), pero no Lanchester ni Sir Geoffrey Taylor. La amplitud de la exposición es generosa e incluye, además de los temas tratados comúnmente en las obras británicas, la dinámica de la combustión, la dinámica relativista de los fluidos y la teoría de los superfluidos. Un lector británico tendría que complementar la lectura de esta obra con otros trabajos referentes a las teorías matemáticas, los resultados experimentales y las aplicaciones aeronáuticas, pero este volumen forma una espléndida introducción a esos estudios. Será de gran valor para todo estudiante universitario que se especialice en la mecánica de los fluidos o que inicie investigaciones en un tema tan interesante y en rápido proceso de expansión. G. TEMPLE

Methods of Experimental Physics, Vol. VI, *Solid State Physics*. (Edìción dirigida por K. Lark-Horovitz y V. A. Johnson.) Parte A: *Preparation, Structure, Mechanical and Thermal Properties*. XVI + 466 págs. $11,80. Parte B: *Electrical, Magnetic and Optical Properties*. XIV + 416 págs. $11. Academic Press Inc., Nueva York; Academic Books Ltd., Londres. 1959.

Aunque forma parte de una serie, este volumen es un todo e incluye un breve estudio del tratamiento de los errores en la observación. Su propósito es suministrar un tratado conciso de los métodos experimentales utilizados en la investigación de los sólidos. Trata de la preparación de muestras y la medición de sus propiedades físicas más importantes. La imponente lista de colaboradores — cada uno de ellos especialista en su rama — y la cuidadosa preparación de la publicación por el lamentado Profesor Lark-Horovitz (a quien sirven de duradero homenaje estos dos volúmenes) y por el Profesor Vivian Johnson han producido un amplio estudio de gran autoridad y lucidez.

Cada capítulo contiene una introducción general y un resumen teórico, antes de entrar a tratar críticamente los principales métodos y técnicas experimentales. En una publicación de este género es inevitable que el nivel sea desigual: unas secciones son difusas, otras demasiado concisas. Ciertas técnicas aquí descritas están ya bien establecidas y su inclusión se justifica para que la obra sea completa. La producción de ésta es excelente, y casi todas sus ilustraciones son claras y útiles. Hemos notado muy pocas erratas. Todas las secciones contienen buenas bibliografías; algunas son completas, otras recojen sólo los trabajos más importantes. El libro es, en todo caso, una valiosísima guía de la literatura publicada hasta 1959 y será indispensable en todo laboratorio en que se estudie la física del estado sólido, así como para otros muchos investigadores en diversas ramas de la física.

L. PINCHERLE

MANDL, F.: *Introduction to Quantum Field Theory*. VII + 202 págs. Interscience Publishers Inc., New York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 34s.
ROMAN, P.: *Theory of Elementary Particles*. XII + 575 págs. North Holland Publishing Co., Amsterdam. 1960. 100s.

Las teorías actuales sobre las partículas elementales y sus interacciones se basan en que cada partícula posee un campo relativista que llena todo el espacio-tiempo; las partículas mismas son manifestaciones cuánticas de este campo. El fotón es un buen ejemplo: si se considera el campo electromagnético de Maxwell como un sistema dinámico y se usan procedimientos de cuantización standard, se llega natural y simplemente a una descripción de un haz de electrones que se mueven libremente. Las dificultades comienzan cuando se quieren describir las interacciones de las diversas partículas y sus campos correspondientes.

En todas esas interacciones se conserva un cierto número de magnitudes físicas, esto es: sus valores no cambian durante el curso de las interacciones. Tales magnitudes son la carga eléctrica, la energía total y el momento angular total. Uno de los métodos más eficaces en el estudio teórico de las partículas elementales es centrarse en estas invariantes para edificar, dentro de la estructura de los campos cuánticos, los principios físicos más profundos sobre los que se basan esas leyes de conservación y deducir luego todas las conclusiones posibles para futuros experimentos, sin limitarse a ninguna forma de la fuerza de interacción entre las partículas mismas. Es asombroso todo lo que se puede aprender y predecir con este mínimo de teoría. En efecto, los grandes éxitos que en los últimos seis años se han obtenido con esta teoría han seguido todas las direcciones descritas; el principio de paridad es uno de los ejemplos más notables. El libro de Roman que aquí reseñamos estudia estos principios de invariancia.

Por otra parte, Mandl aplica precisamente el enfoque opuesto. Su libro es una exposición del método de Feynman-Dyson que ha obtenido excelentes resultados en el cálculo de las secciones eficaces de dispersión una vez que se ha postulado la forma posible de la fuerza de interacción.

Estos dos libros difieren no sólo en su enfoque sino también en su estilo. Mandl se ha propuesto escribir un libro breve para diseñar, lo más rápidamente posible, las técnicas actuales para desarrollar y resolver posibles ecuaciones de campo. Roman, por el contrario, ha producido una obra más amplia en la que estudia de manera detenida temas tales como las representaciones del grupo ortogonal tetradimensional, los conceptos de la reflexión espacial y temporal, y la posible clasificación de esquemas de partículas elementales, como multipletes; aproximadamente un centenar de páginas estudian las ecuaciones de campo y las partículas no interactuantes.

Todo lo que dice Mandl se encuentra ya en textos como la «Teoría de fotones y electrones» de Jauch y Rohrlich y la «Introducción a la teoría de los campos cuantificados» de Boguliubov y Shirkov; a pesar de ello viene a satisfacer una necesidad. Nuestra única crítica es que el libro no es aún bastante conciso; hubiéramos preferido algo de la mitad de su tamaño, en rústica, y a mitad de precio: es decir un volumen que todo estudiante hubiera podido adquirir sin prejuicio de un gasto más considerable en uno de los tratados más amplios. Otra cosa que también hubiera sido de valor es un sumario tabulado de reglas para la presentación de elementos de matriz-S y para calcular las probabilidades de transición.

De los capítulos de Roman el mejor es el primero, sobre el grupo de rotación. La mayor parte de la obra se resiente, inevitablemente, del rápido progreso que experimentan estos estudios, aunque recoje en sus páginas gran cantidad de temas estudiados aisladamente en revistas. Por ejemplo, el estudio de la paridad tiene que ser incompleto hasta que se conozca bien el fenómeno de la desintegración de las partículas extrañas. Pero a pesar de esas críticas es

una adición útil al escaso número de obras sobre los principios de invariancia.

A. SALAM

The Many Body Problem. Université de Grenoble. Cours donnés à l'école d'été de physique théorique. 1958. xv + 675 págs. Methuen & Co. Ltd., Londres. 1959. 100s.

Este extenso volumen consiste de las notas tomadas durante las conferencias pronunciadas en 1958 en la escuela de verano de física teórica organizada por la Universidad de Grenoble en Les Houches. Las conferencias tienen como base común los métodos recientemente desarrollados para el estudio de los problemas de cuerpos múltiples en términos de las interacciones entre las partículas individuales. El primer artículo es un estudio por N. M. Hugenholtz de los elegantes trabajos por él realizados en colaboración con L. van Hove sobre las técnicas básicas necesarias para la aplicación de la teoría de las perturbaciones a los sistemas de fermiones múltiples. Esto incluye los métodos de gráficos y el uso del concepto de agujeros.

Siguen luego dos largos capítulos por K. A. Brueckner. El primero presenta sus propios esfuerzos por resolver el problema de la estructura nuclear partiendo de una determinada interacción de dos cuerpos. En el segundo capítulo aplica métodos semejantes al ^{3}He líquido y al gas de electrones.

Otros capítulos sobre los fundamentos teóricos son: uno de J. R. Schrieffer sobre la teoría de la superconductividad de Bardeen-Cooper-Schrieffer, y dos de K. Huang sobre los trabajos que ha realizado con Lee y Yang sobre el gas de bosones de esfera dura. Hay otros capítulos interesantes derivados de las conferencias de B. R. Mottelson sobre la estructura cortical nuclear y sus deformaciones, de D. Bohm sobre los coordinados colectivos y de D. Pines sobre electrones, plasmones y fonones. Las demás colaboraciones son demasiado numerosas para que podamos mencionarlas aquí, pero sí debemos señalar el breve, elegante e incisivo estudio de V. F. Weisskopf sobre los fundamentos físicos de las teorías sobre la materia nuclear.

Este volumen, que contiene colaboraciones de numerosos expertos en estos estudios, tiene evidentemente gran valor para cualquiera que se interese seriamente en los diversos aspectos del problema de los cuerpos múltiples.

J. HAMILTON

GOLDSMID, H. J.: *Applications of Thermoelectricity.* xv + 118 págs. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., Nueva York. 1960. 10s. 6d.

El uso de los semiconductores (en lugar de metales) para las termocuplas ha venido a despertar de su sueño en estos últimos años la vieja rama científica de la termoelectricidad. Sus aplicaciones en el laboratorio y — lo que es aún más interesante — sus posibles y originales aplicaciones industriales, tales como la fabricación de refrigeradores compactos, silenciosos y perpetuos y de generadores termoeléctricos bastante eficaces (en especial para la conversión en electricidad de la energía solar) han atraído la atención de físicos e ingenieros.

Era, por tanto, necesario un libro que suministrase una introducción sencilla a esta materia y un resumen de los progresos realizados: esto es precisamente lo que se propone este libro. Su autor ha realizado importantes contribuciones a estos estudios y nos presenta un excelente tratado general de los desarrollos presentes y de las posibilidades futuras. No es ya tan excelente el estudio de las cuestiones físicas; la principal crítica es que el nivel de conocimientos que se supone en el lector varía considerablemente. En tanto que los efectos termoeléctricos se estudian de manera elemental, tal como hallaríamos en un texto avanzado de física, por otra parte el lector debe conocer lo que se entiende por «bandas de energía» en un semiconductor, qué son semiconductores degenerados y no-degenerados, impurezas de donador y de aceptante, el nivel de Fermi reducido y hasta el efecto de difusión térmica de Soret. Puede haber desacuerdo en lo que se refiere a la elección y presentación de parte del contenido y criticarse además el estudio de los experimentos sobre la conductividad térmica del antimoniuro de indio, que nadie ha podido reproducir.

Con todo, este libro ha de ser útil para los estudiantes que deseen iniciarse en termoelectricidad y sobretodo para los ya especializados en la física de los semiconductores. Será además lectura de provecho para quien quiera informarse de los progresos que se realizan en ese terreno.

L. PINCHERLE

QUIMICA

PRIGOGINE, I. (Compilador): *Advances in Chemical Physics*, Vol. II. xi + 414 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 87s.

Segundo volumen de una nueva serie en la que diversos especialistas presentan en artículos de notable alcance sus propias doctrinas, con plena libertad y sin limitación de espacio. Los estudios críticos de este tipo y de estas dimensiones son de gran valor para los lectores no especializados en los temas tratados.

En el primer trabajo de J. H. van der Waals y J. C. Platteeuw, un estudio general de las propiedades de las disoluciones de clatrato va seguido de un riguroso tratamiento estadístico-mecánico de sus propiedades termodinámicas y de un estudio de los equilibrios heterogéneos en los que intervienen compuestos de clatrato. K. A. Pitzer estudia las teorías de las fuerzas inter e intramoleculares causadas por la correlación de la moción electrónica entre átomos o moléculas no ligados. Se subrayan las diversas aproximaciones usadas y se comparan los resultados con los experimentales. El trabajo de J. S. Rowlinson y M. J. Richardson trata de la solubilidad de los sólidos en gases comprimidos. Se estudian los diagramas de fases y los trabajos experimentales sobre cierto número de sistemas. Después del tratamiento teórico se describe la evaluación de los segundos coeficientes viriales de las medidas de solubilidad, comparándose luego los resultados con los obtenidos mediante medidas ordinarias de presión, volumen y temperatura. R. A. Oriani estudia la termodinámica de las soluciones metálicas; seguidamente, M. Szwarc trata en extenso las reacciones de polimerización, describiendo la iniciación, propagación y terminación de tales reacciones y estudiando los «polímeros vivientes». J. Duchesne describe el uso de los espectros de resonancia tetrapolar nuclear para el estudio de las alteraciones en los cristales irradiados. Sigue un estudio muy extenso sobre los diferentes enfoques del problema de la correlación en los fenómenos cuantimecánicos plurielectrónicos, obra de Per-Olov Lowdin. H. Yoshizumi presenta luego un estudio bibliográfico del mismo tema. Este trabajo alcanza nivel técnico muy elevado y no será fácilmente comprensible para los no especialistas en esta materia. Por otra parte, el último trabajo, de E. Bright Wilson, sobre los problemas de las barreras que se oponen a la rotación interna en la moléculas es un estudio muy claro de las actuales doctrinas con referencia a los métodos de medida de tales barreras y a su interpretación.

R. E. RICHARDS

COTTON, F. A. (Compilador): *Progress in Inorganic Chemistry*, Vol. I. IX+566 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 109s.

El creciente interés en todo el mundo por la química inorgánica y la rápida acumulación de trabajos originales justifican ampliamente la producción de esta nueva serie de estudios generales. En ellos se tratarán, en volúmenes sucesivos, las ramas más importantes, aunque en éste sólo se estudian siete temas. Estos se extienden desde el ciclopentadienilo y los compuestos metálicos arénicos, los compuestos de azufre-nitrógeno y los complejos isociánicos de metales, hasta los extensos estudios teóricos sobre las disoluciones metálico-amónicas y el efecto de la escisión orbital interna sobre las propiedades termodinámicas de los compuestos metálicos y de transición y los complejos de coordinación. La química estructural está bien representada mediante trabajos sobre los compuestos intersticiales del grafito y la estructura y propiedades de los óxidos metálicos mixtos. Los colaboradores son todos notables autoridades en sus respectivas ramas y escriben primordialmente para especialistas, aunque una buena proporción del textos es también de interés para un círculo más amplio de lectores. El carácter internacional de esta serie se refleja en el artículo del Profesor Becke-Goehring sobre los compuestos sulfuronitrogenados, impreso en alemán; es de esperar que esta práctica se continúe y acentúe en los volúmenes siguientes. H. J. EMELÉUS

Treatise on Analytical Chemistry, Vol. I, Parte I, *Theory and Practice*. (Edición preparada por I. M. Kolthoff y P. J. Elving con la colaboración de E. B. Sandell.) XXVI+809 págs. Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 133s.

Este tratado se presenta como un estudio completo de la química analítica en tres partes: la primera trata de los métodos, la segunda del análisis químico de los elementos, y la tercera del de los materiales industriales.

La Sección A, que comprende las 93 páginas primeras, estudia los objetivos, funciones y limitaciones de la química analítica y significa un enfoque muy equilibrado de este tema. Es interesante notar que Sandell y Elving mantienen aún la opinión de que la manera más útil de iniciarse en la investigación químico-analítica es la completa indoctrinación en el análisis gravi y titulométrico clásicos, incluyendo el mineral; es también interesante ver que Sandell cita más adelante la famosa conferencia de Lundell en 1933 titulada «El análisis de las cosas tal como son». En verdad, los principios básicos de los compiladores de este libro suministran una especie de ancla a la que se puede afirmar todo analista profesional cuando se embarca en la Sección B, que trata de la aplicación de los principios químicos a la química analítica, ya que gran parte de esa sección se destina a la exposición de las nociones inorgánicas y físicas modernas. Es especialmente así en el capítulo de Watters sobre los elementos y los compuestos, y el de T. S. Lee que trata del equilibrio químico y la termodinámica de las reacciones. Será interesante ver, cuando se publique la Parte 3, qué efecto se ha producido sobre la técnica analítica y sus resultados.

El nivel de todas las colaboraciones en esta obra es siempre elevado. Lo único que nos preocupa es que quizás la obra sea excesivamente ambiciosa y su título, por consiguiente, demasiado restrictivo. R. C. CHIRNSIDE

Nouveau traité de chimie minérale, Vol. XVI (Edición preparada por P. Pascal). XXXIX+1196 págs. Masson et Cie., París. 1960. En rústica: NFrs. 170; encuadernado: NFrs. 185.

Este volumen trata de dos muy distintos grupos de elementos: los halógenos, que ocupan la mitad del texto, y los metales de transición manganeso, tecnecio y renio. Colaboran en él siete autores que, como en anteriores volúmenes de esta serie, siguen en el tratamiento de los diversos elementos un modelo uniforme: en términos generales, una descripción sucesiva de los elementos. No se presta mucha atención a la química comparada. Las bibliografías recogen material hasta 1956 ó 1958, según los casos, lo que significa inevitablemente la omisión de progresos recientes, sobretodo respecto a los halógenos. Los capítulos sobre el tecnecio y el renio son especialmente valiosos ya que existen muy pocos resúmenes de las investigaciones realizadas sobre estos nuevos elementos. En realidad, éste es un notable libro de consulta, sobre todo debido a que en él se subrayan los aspectos físico-químicos del tema. Está muy bien ordenado, representa un enfoque crítico y es bastante completo, sin excesivo detalle. Además, está muy bien presentado. Será sin duda de gran valor en toda biblioteca utilizada por estudiantes avanzados e investigadores de química inorgánica.

H. J. EMELÉUS

Formation and Trapping of Free Radicals. (Compilado por A. M. Bass y H. P. Broida.) XVI+522 págs. Academic Press Inc., Nueva York; Academic Books Ltd., Londres. 1960. $16.

En los últimos años nuestros conocimientos sobre los radicales libres han aumentado considerablemente, lo cual se debe, en parte, a la aplicación de nuevos métodos tales como la espectroscopía de resonancia paramagnética, para la medición de sus propiedades, y, en parte, al desarrollo y explotación del método de «congelado» con el cual se les convierte en sólidos a muy bajas temperaturas. De esta manera pueden conservarse incambiados durante horas, días o semanas y ser estudiados mediante una gran variedad de procedimientos. Este libro, que es una reunión de artículos de diversos expertos, describe los métodos de producción y aislamiento de radicales libres en matrices sólidas, y su estudio. Los libros obra de muchos autores muestran siempre cierta incoherencia, además del peligro de la inadecuación de las referencias cruzadas; estos inconvenientes son mínimos en el presente gracias a un buen índice y a que la selección de los colaboradores ha asegurado la autoridad de los estudios. Contiene 16 capítulos independientes, lo que suministra un tratamiento bastante completo de esta materia, que ha sido adecuadamente estudiada por un grupo que trabaja bajo la orientación general de los compiladores de este volumen. J. W. LINNETT

Technique of Organic Chemistry, Vol. I, Parte I — *Physical Methods of Organic Chemistry*. (Tercera edición, aumentada y completamente revisada. Compilada por A. Weissberger.) XII+894+1–24 (Indice) págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 148s.

Los triunfos de los físicos del siglo XIX se han convertido en el XX en la tecnología básica de los químicos, a la que ha venido a añadirse toda una serie de procedimientos de control y registro electrónico que disminuyen considerablemente la probabilidad de error en el registro final de datos numéricos exactos. Por consiguiente, este volumen, con sus 15 capítulos que tratan de la calorimetría y de las

mediciones de temperatura, y con secciones sobre el viejo estudio de las propiedades de la materia que tienen hoy aplicación para el conocimiento de la estructura de las moléculas, es en realidad una obra detallada de consulta sobre la física clásica experimental.

Este libro inicia la nueva edición de la serie de textos de consulta sobre las técnicas de la química orgánica preparados por Weissberger. Moderniza muchos capítulos publicados hace 10 años, añade nuevos sobre temas tales como el control y registro automáticos, y será, cuando se hayan publicado sus cuatro volúmenes, un 50% más grueso que la edición anterior. Por fortuna, no se modifican los excelentes estudios teóricos redactados por los colaboradores originales, y se mantiene el nivel de amplitud en sus referatas y su excelente tipografía, en especial por lo que se refiere a la claridad de los diagramas. W. A. WATERS

Non-benzenoid Aromatic Compounds (compilado por D. Ginsburg.) XII + 543 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 135s.

En años recientes se han realizado considerables progresos teóricos y prácticos en el estudio de los compuestos aromáticos no bencenoides. Este volumen es una colección de reseñas generales sobre diversos aspectos de estos estudios y útil adición a la literatura química.

Los títulos de los nueve capítulos dan una idea de su contenido y alcance: aromaticidad (Craig); ciclobutadieno y compuestos afines (Baker y McOmie); compuestos derivados del ciclopentadieno (Pauson); pentaleno y heptaleno (Bergmann); azulenos (Heilbronner); rutas que conducen al azuleno (Keller-Schierlein y Heilbronner); troponas y tropolonas (Nozoe); ciclo-octatetraeno (Raphael); ciclopoliolefinas (Baker y McOmie). Los autores de la mayor parte de los capítulos son especialistas en el tema tratado.

La elección de los temas ha sido muy acertada pues aunque compuestos tales como el ciclobutadieno, pentaleno, heptaleno y ciclo-octatetraeno difícilmente pueden considerarse aromáticos, el interés de su estudio procede de el de la aromaticidad de los compuestos orgánicos.

En un campo de estudio que se extiende tan rápidamente como éste es inevitable que una obra pierda cierta actualidad ya en la fecha en que se publica. En el caso presente, el plazo entre la redacción y la publicación se ha reducido a un mínimo, y las notas añadidas durante la corrección de pruebas forman un elemento muy valioso. F. SONDHEIMER

CRISTALOGRAFIA

DE JONG, W. F.: *General Crystallography, a Brief Compendium.* 281 págs. W. H. Freeman & Co., Londres. 1959. 38s.

Libro éste en verdad notable. En sus 265 páginas, el autor, con la colaboración de J. Bouman, se ha esforzado por comprimir toda la cristalografía. Contiene cuatro secciones que tratan de la cristalografía geométrica, estructural, química y física. Incluye numerosas referencias a la literatura original y a otros libros para facilitar la consulta de otros textos más extensos al lector que pueda hallar dificultosas las condensadas pero lúcidas explicaciones de éste. Como se tratan tantos aspectos de la cristalografía, muchos químicos, físicos y minerálogos quedarán sorprendidos al descubrir que dicha rama contiene campos tan diversos.

Las numerosas tablas y diagramas están muy bien preparados y es muy fácil su consulta. Por ejemplo, la trigonometría esférica que puede necesitar un cristalógrafo está presentada en forma admirablemente compacta en la sección sobre la cristalografía geométrica, donde también se encuentra un útil estudio de la proyección estereográfica y una tabla que traduce las descripciones de clases de cristales usadas por minerálogos y cristalógrafos estructurales. M. R. TRUTER

MINERALOGIA

Dana's Manual of Mineralogy (17ª edición), revisado por C. S. Hurlbut, Jr. XI + 609 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1960. 92s.

El Manual de Dana, desde su primera aparición en 1948, ha sido la mejor introducción general al estudio de la mineralogía. A lo largo de todo este tiempo, las continuas revisiones, modificaciones y extensiones han mantenido el libro al corriente de los progresos; también sucede así con la presente edición, publicada sólo siete años después de la anterior. Ahora se da lugar de honor a los principios de la química de los cristales, que relacionan la composición química, la estructura interna y las propiedades físicas; todo ello forma la base de la descripción de los grupos minerales. Las principales propiedades físicas están bien descritas, pero no se estudian las ópticas, lo que es un defecto desde el punto de vista de los geólogos. Las importantes adiciones al estudio de la cristalografía incluyen secciones sobre la proyección estereográfica, el cálculo de razones entre ejes y los métodos de la cristalografía de rayos X. La clasificación de los minerales usada en la parte descriptiva del libro es la empleada en la última revisión del «Sistema de Mineralogía» de Dana, del que han aparecido hasta ahora dos volúmenes; los silicatos se consideran en sus grupos estructurales, habiéndose adoptado la nomenclatura de Strunz. Esta edición es muy útil como introducción a esta materia para uso de químicos, físicos, geólogos y estudiantes de mineralogía. H. H. READ

BIOLOGIA

Evolution of Nervous Control from Primitive Organisms to Man. (Edición dirigida por A. D. Bass.) VII + 231 págs. Publicación Nº 52 de la American Association for the Advancement of Science, Wáshington, D.C. 1959.

Aunque este volumen contiene algunos artículos interesantes, no cumple la promesa de su título. Cada uno de los autores describe sus propias investigaciones y descubrimientos en el estudio del sistema nervioso, pero ninguno de ellos hace frente verdaderamente al problema de la evolución del control nervioso. Los artículos de Ladd, Prosser y Grundfest contienen mucho material de enorme interés en fisiología comparada. El de Teuber es un excelente estudio condensado de sus descubrimientos sobre los defectos que revela todo estudio detallado en cualquier función, aún después de lesiones cerebrales localizadas. Mirsky, psicoanalista, escribe ampliamente sobre el hipnotismo, pero apenas roza el tema de la evolución de los mecanismos de control.

J. Z. YOUNG

Genetics and Twentieth Century Darwinism. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. XV + 321 págs. The Biological Laboratory, Cold Spring Harbor, L.I., Nueva York. 1959. $8.

Si fuera necesario preparar una selección de todas las publicaciones aparecidas en relación con el centenario de la teoría de la evolución por selección natural, el primer premio lo merece hasta ahora este simposio sobre la genética y el darwinismo en el siglo XX. Contiene unas doce colaboraciones de

autores que son activos experimentadores cuyos resultados y opiniones ningún investigador debe desdeñar.

En el espacio que poseemos no nos es posible hacer justicia a todos; mencionemos pues solamente el primero y el último. Con los títulos *Where are we?* y *The synthetic approach to problems of organic evolution* los Profesores Ernst Mayr y G. Ledyard Stebbins presentan trabajos notables no sólo porque recogen sus principales triunfos en investigaciones en el campo de la evolución, sino también porque nunca olvidan que aunque lo que nosotros conocemos sobrepasa en mucho la ciencia de nuestros predecesores, lo que aún queda por aprender es infinitamente mucho más. Un tema muy fructífero para la especulación es la indicación del gran punto débil de la selección natural y de la diferencia entre un elevado valor selectivo y un elevado valor adaptativo en un organismo: el primero es probablemente la principal causa de extinción. Hoy ya no hay excusa para creer que la evolución no es el resultado de mutaciones, de recombinación de genes, selección y aislamiento: la selección, no la mutación, dirige la evolución; el origen de categorías generales y más elevadas es el resultado de la continuación de los mismos procesos que comienzan por producir nuevas variedades y nuevas especies. G. DE BEER

ANFINSEN, C. B.: *The Molecular Basis of Evolution.* XIII + 228 págs. John Wiley & Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 56s.

Como consecuencia de varios descubrimientos realizados durante los últimos años es hoy posible estudiar la herencia y la evolución en términos moleculares; entre esos descubrimientos son especialmente interesantes el de que el ácido nucleico es el vehículo de la información hereditaria, la estructura molecular del ácido desoxirribonucleico (ADN), la hipótesis llamada «un gene, una enzima», y finalmente el desarrollo de métodos para determinar las secuencias de aminoácidos en las proteínas. Hoy todo el mundo admite que, en el último análisis, el fenotipo de un organismo es una expresión de la secuencia de aminoácidos de las proteínas que contiene, y que, aquéllos, a su vez, están determinados por la secuencia de bases en el ADN derivado de los progenitores en esperma y huevo. La mayoría de los estados intermediarios son todavía muy confusos, pero muchos de ellos son investigados hoy bioquímicamente y, sin duda, dentro de algunos años se podrá explicar en principio por qué los cambios del fenotipo resultan de los cambios en las sustancias genéticas.

En este atrayente libro encontramos uno de los primeros intentos de explicar coherentemente esta nueva rama de estudios que han venido a ocupar una posición central en la investigación biológica. Las lagunas que encontramos se deben a que el autor ha tenido el valor de escribir este estudio inmediatamente después de haberse establecido un esquema teorético coherente, sabiendo muy bien que las investigaciones futuras por necesidad deben modificar dicho esquema en muchos aspectos. Este estudio implica la relación entre la bioquímica y la genética, y el autor supone que los conocimientos del lector son más extensos en la primera; con todo, un bioquímico ignaro en cuestiones genéticas debe remediar tal inopia antes de leer este libro. En él el autor ha sabido reflejar muy bien la viveza de interés de estos estudios en rápido desarrollo; sin la menor vacilación recomendamos este libro a todo lector interesado en las cuestiones fundamentales de la biología.

J. G. KENDREW

BOTANICA

ROELOFSEN, P. A.: *The Plant Cell Wall.* VII + 335 págs. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Nikolassee. 1959. DM 108.

Este libro forma parte del *Handbuch der Pflanzenanatomie* y viene a remplazar uno sobre el mismo tema escrito por van Wisselingh en 1925. Durante el período desde entonces transcurrido esta materia ha progresado tanto que ha sido necesario un cambio total de método para su tratamiento. Ya no se busca una comprehensividad total sino más bien una exposición crítica de los conocimientos actuales, sin preocuparse demasiado por las fases de su desarrollo.

Los primeros capítulos tratan de los fenómenos químicos en los constituyentes de la pared celular, especialmente en la celulosa, quitina, poliosas, poliuronidas, lignina y lipoides. La mayor parte del libro está dedicada a la descripción de estructuras finas, haciéndose pleno uso de los resultados obtenidos con el microscopio normal, el de luz polarizada, el análisis radiográfico y, finalmente, el microscopio electrónico. Se da una breve indicación de las ventajas e inconvenientes de tales instrumentos aplicados a la observación de la pared celular, siguiendo luego un detallado estudio de la estructura de las paredes primarias y del tema tan controvertido del proceso de desarrollo de su superficie. Finalmente se tratan las envolturas especializadas en numerosos grupos vegetales. Una de las características más notables de este libro es la gran colección de micrografías electrónicas y de otras ilustraciones, seleccionadas con buen juicio y reproducidas con extraordinaria claridad. W. O. JAMES

GAUTHERET, R. J.: *La culture des tissus végétaux. Techniques et réalisations.* XVIII + 863 págs. Masson et Cie, París. 1959. NFrs. 105.

Un libro, así titulado y obra del Profesor Gautheret tiene por necesidad que ser recibido con interés y respeto por todo botánico. El presente volumen, concebido en generosa escala, es una visión general del tema, cita casi un millar de referencias, tiene copiosos índices y ricas ilustraciones. No es necesario añadir que se trata sobre todo de una obra de consulta.

La primera sección, que ocupa más de 200 páginas, trata de la técnica de los cultivos de tejidos vegetales y estudia con considerable detalle desde la composición de los medios de cultivo hasta los métodos para el manejo de sustancias de toda índole. Incluye una lista de todos los cultivos conocidos que han dado resultados satisfactorios durante largos períodos. Esta es la parte del libro que será consultada con más frecuencia. Otras secciones estudian la morfogénesis y la polaridad en tanto cuanto estos desconcertantes fenómenos han sido estudiados en cultivos de tejidos. Siguen luego la fisiología general y la patología de los materiales cultivados, con especial referencia a la formación de tumores. No es grave crítica decir que estas últimas secciones son las menos adecuadas: a pesar de la evidente atracción que como temas de estudio ejercen, los cultivos de tejidos vegetales no son fáciles de tratar y aún no tenemos suficientes datos para comparar su metabolismo con el de los tejidos normalmente situados. Este libro del Profesor Gautheret será obra clásica de referencia hasta que los progresos en estos estudios entren en una nueva fase. W. O. JAMES

Plant Pathology. An Advanced Treatise (edición dirigida por J. G. Horsfall y A. E. Dimond.) Vol. I, *The Diseased Plant.* XIV + 674 págs. Academic Press

Inc., Nueva York; Academic Books Ltd., Londres. 1959. $22.

Primero de una obra de tres volúmenes sobre todos los aspectos de la patología vegetal, este libro trata principalmente de la planta enferma. El primer trabajo, obra de los compiladores, prepara el terreno para los otros catorce, redactados por distinguidos patólogos vegetales de diversos países.

Están tratados en gran detalle los temas siguientes: relaciones entre la patología vegetal y otras ciencias e importancia social de la primera; historia de la patología vegetal; reconocimiento, diagnosis y mensuración de las enfermedades vegetales; aspectos histológico, fisiológico y bioquímico de la reacción de las plantas a la infección e invasión; hipersensibilidad; predisposición; terapia de las plantas enfermas.

En su Prefacio, los compiladores afirman que el principal objetivo de este tratado es presentar los principios generales de la patología vegetal más bien que describir enfermedades determinadas y los medios terapéuticos respectivos. Este primer volumen se ajusta muy bien a dicho propósito.

R. K. S. WOOD

ZOOLOGIA

NICOL, J. A. Colin: *The Biology of Marine Animals*. XI+707 págs. Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., Londres. 1960. 95s.

El Dr. Nicol presenta un estudio general extraordinariamente acertado de la biología de los animales marinos, considerada primordial — aunque no exclusivamente — desde el punto de vista de la fisiología. Después de algunos capítulos introductorios sobre el medio marino y sobre la naturaleza y control del ambiente fluido interno en la población, pasa a estudiar todos los aspectos de la fisiología, desde la circulación a los pigmentos, cambios de color y luminiscencia. Yendo aún más lejos, concluye su extenso libro con capítulos sobre el fenómeno de las asociaciones, sobre los esqueletos, los refugios y las defensas especiales. Todo este material va completado con extensas referencias a la literatura sobre estos temas e ilustrado con figuras tan numerosas como bien elegidas.

C. M. YONGE

MEDICINA

British Medical Bulletin, Vol. XVI, No. 1, *Antibiotics in Medicine*. XVII+88 págs. British Council, Londres. 1960. 20s.

Este número del *British Medical Bulletin* proporciona un cuadro útil y bien equilibrado de la presente aplicación de los antibióticos en medicina y cirugía, así como un resumen de los fundamentos científicos y tecnológicos sobre los que se basan los rápidos progresos quemoterápicos relacionados con el uso de antibióticos. Contiene 16 artículos; los tres primeros tratan de la química y biogénesis de los antibióticos, su modo de acción y los procesos mediante los cuales las bacterias adquieren resistencia. El Profesor L. P. Garrod y el Dr. E. F. Scowen introducen los artículos siguientes con un lúcido estudio de los principios de la terapéutica a base de antibióticos, artículos que en su mayoría son de carácter general. Sin embargo, la tuberculosis y la endocarditis bacteriana, dos enfermedades cuya prognosis ha variado grandemente gracias a los antibióticos, se estudian individualmente, prestándose especial atención a las dificultades que presentan los estafilococos y los bacilos gram-negativos resistentes. Los temas han sido elegidos con cuidado y tratados de manera que se mantiene el tradicional elevado nivel de este Boletín.

E. P. ABRAHAM

HISTORIA DE LA CIENCIA

NEEDHAM, J., WANG LING y PRICE, D. J.: *Heavenly Clockwork*. XV+254 págs. Cambridge University Press, en asociación con The Antiquarian Horological Society, Cambridge. 1960. 65s.

Este libro, que es la primera monografía de la *Antiquarian Horological Society*, recoje los resultados de uno de los descubrimientos recientes más notables en la historia de la horología. Antes se creía que el escape mecánico era una invención occidental del último cuarto del siglo XIII, y que los relojes de agua anteriores eran formas más o menos simplificadas de las clepsidras de gota, en las que las manecillas y autómatas se movían por medio de flotadores y poleas, pero sin usar forma alguna de escape. En este libro se demuestra que entre 725 y 1370 (fecha en que parece haberse perdido este arte) los chinos construían relojes astronómicos de gran complicación movidos hidráulicamente y regulados mediante un escape muy efectivo.

Este descubrimiento se produjo cuando los autores de este libro estudiaban — en relación con otro problema — un manuscrito de Su Sung de 1090 en el que se describen en considerable detalle los métodos para construir una esfera armillar y un globo mecánicos. El libro de Su Sung se conocía ya, pero no se había apreciado su importancia para la historia de la horología.

El presente volumen incluye una traducción completa del tercer capítulo de Su Sung, en el que se describe el mecanismo en detalle, y contiene varios dibujos explicativos, además de las reproducciones de las ilustraciones del texto original. Los autores han podido identificar, gracias a un estudio de este texto, más de 150 términos técnicos de la primitiva mecánica china; una vez en posesión de tal glosario han podido interpretar otros textos en los que se describen mecanismos similares, en ciertos casos aún anteriores. El libro contiene además un estudio completo del desarrollo de la relojería en China, antes y después de Su Sung, e intenta relacionar los mecanismos chinos con los relojes de agua del siglo XIII en Europa occidental.

C. B. DROVER

TECNOLOGIA

ELLIOT, A. y HOME DICKSON, J.: *Laboratory Instruments, their Design and Application* (2ª edición revisada). XVI+514 págs. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 55s.

Este libro, que trata casi solamente de los aspectos mecánico y óptico de los instrumentos y materiales de laboratorio, ha sido guía valiosa y segura para todo investigador o estudiante que ha precisado construir su propio instrumental. No existen muchos libros de este tipo, y la buena acogida que ha recibido su primera edición es prueba de que cumple útil función. Esta nueva edición incluye un tratamiento más completo de los materiales plásticos, los metales inoxidables, los cristales ópticos usados en espectrofotometría, el uso del vidrio como protección contra las radiaciones, nuevos datos sobre la visión de los colores, lentes fotográficas y pruebas de resolución.

W. C. PRICE

Revistas resumidas de libros

(Estas revistas tienen carácter descriptivo más bien que crítico y sirven para dar una indicación general del contenido y naturaleza de las obras tratadas.)

FREEDMAN, P.: *The Principles of Scientific Research* (2ª edición). XVII + 227 págs. Pergamon Press Ltd., Oxford. 1960. 25s.

Este libro va destinado al joven científico que desee llegar a ser un investigador, y contiene un estudio general de la naturaleza de la investigación científica desde el punto de vista de la persona que a ella se dedica y describe los tipos de problema y los métodos de enfoque. También contiene sugerencias sobre las ayudas con que puede contar la investigación. La primera edición de esta obra ha sido revisada por el hijo del autor, R. Clayton, sobre todo para ampliar la sección sobre la investigación biológica.

BREHAUT, D. H., DAWSON, B. E., GRIMSDELL, J. L., PAUL, A. R. y SKULL, J. E.: *An Approach to Natural Science*. 264 págs. Methuen & Co. Ltd., Londres. 1960. 8s. 6d.

Los autores han basado este libro sobre un curso introductorio de dos años pronunciado originalmente en la *Quintin School* de Londres. Han procurado ofrecer una introducción al estudio general de la ciencia mediante la interpretación de las características y mecanismos de los organismos vivos, en términos físicos y químicos. Algunos capítulos tratan del calor, los alimentos, el suelo y los ciclos vitales; los dos últimos sobre la electricidad y la naturaleza de la materia y se proponen servir de enlace con los cursos especializados sobre física y química.

DAUDEL, R., LEFEBRE, R. y MOSER, C.: *Quantum Chemistry: Methods and Applications*. XIII + 572 págs. Interscience Publishers Inc., Nueva York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. $14,50.

Este libro está destinado a los químicos que deseen aplicar funciones ondulares a las moléculas para estudiar algunas propiedades físicas y químicas de las sustancias. Los autores no suponen en el lector amplios conocimientos de matemáticas ni de química cuántica e incluyen los datos necesarios en los lugares oportunos. Los temas tratados incluyen un estudio de los métodos empíricos usados en la mecánica cuántica, con un estudio detallado de la combinación lineal de los orbitales atómicos — orbitales moleculares (CLOA-OM) y estudios más breves de otros métodos, tales como la aproximación valencia-enlace; la sección también contiene varias aplicaciones de esos métodos simples. La segunda parte del libro trata de los métodos no empíricos y semiempíricos e incluye varios resultados de la aplicación de tales procedimientos más rigurosos.

GAYDON, A. G. y WOLFHARD, H. G.: *Flames: their Structure, Radiation and Temperature* (2ª edición). XIII + 383 págs. Chapman & Hall Ltd., Londres. 1960. 70s.

El propósito de este libro es presentar un estudio bastante avanzado de la rama de la ciencia de la combustión que se ocupa de las llamas estacionarias, subrayando las cuestiones físicas a expensas de las químicas. Los temas estudiados incluyen: formas de flujo y formas de llama, llamas de difusión, y la medida de la temperatura de las llamas. Los progresos de la investigación sobre la combustión han hecho necesaria la nueva redacción de importantes secciones de la primera edición; dos capítulos han sido revisados enteramente para incluir los combustibles para cohetes y los recientes progresos en los problemas referentes a las llamas.

Nouveau traité de chimie minérale, Vol. VII (dirigido por P. Pascal). Parte I, XXXIX + 706 págs. Parte II, 707–1473 págs. Masson et Cie, París. 1960. En rústica: 180 NFrs.; encuadernado: 200 NFrs.

F. Trombe, J. Loriers, Madame F. Gaume-Mahn y Mademoiselle C. Henry la Blanchetais han redactado la mayor parte de este volumen, que trata de la química del escandio, ytrio y tierras raras. La breve sección sobre el actinio (34 páginas) es obra de G. Boussières.

KILNER, E. y SAMUEL, D. M.: *Applied Organic Chemistry*. XI + 484 págs. Macdonald and Evans Ltd., Londres. 1960. 50s.

Este libro está destinado a los estudiantes que necesitan un nexo entre los libros de texto oficiales de química orgánica y las obras detalladas que estudian aspectos de la química orgánica industrial. Los capítulos tratan de una gran gama de compuestos orgánicos y contienen datos sobre los métodos industriales de preparación y separación. El libro está ordenado de manera que pueda ser usado como suplemento de los textos ya existentes de química orgánica.

Comparative Biochemistry and Physiology, Vol. I, No. 1 (dirigido por G. A. Kerkut y B. T. Scheer). 100 págs. Pergamon Press Inc., Nueva York; Pergamon Press Ltd., Londres. 1960. Suscripción: Instituciones, $20 por volumen (dos volúmenes anuales); particulares, $15 por año.

El prefacio del Profesor Needham en el número inicial de esta revista dice que su propósito es publicar trabajos destinados a extender el alcance de la bioquímica y la fisiología, en particular a los invertebrados. Los autores de los trabajos de este número incluyen a O. Lowenstein y L. H. Finlayson sobre la respuesta del receptor de extensión abdominal de un insecto a la estimulación fásica; E. Baldwin sobre la ureogénesis en los peces elasmobranquios; y del Profesor Needham mismo sobre las propiedades del pigmento del tejido conectivo de *Lithobius forficatus* (L.).

ARTHUR, D. R.: *Ticks. A Monograph of the Ixodoidea*, Parte V. VIII + 251 págs. Cambridge University Press, Londres. 1960. 60s.

Las primeras cuatro partes de esta obra — que contendrá seis — sobre la clasificación, estructura y biología de los ixodoideos fueron compiladas por el difunto Profesor G. H. F. Nuttall; la obra será completada por el Dr. D. R. Arthur. Este volumen trata de los géneros *Dermacentor*, *Anocentor*, *Cosmiomma*, *Boophilus* y *Margaropus*.

LAWSON, D. F.: *The Technique of Photomicrography*. XVI + 256 págs. George Newnes Ltd., Londres. 1960. 55s.

Este libro incluye la técnica de la microfotografía, con excepción de la electrónica. Incluye detalles prácticos sobre el equipo, la iluminación y el revelado, con el objeto de servir de guía a todo científico o fotógrafo. Contiene numerosas microfotografías.

Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. 280 págs. The Royal Society, Londres. 1959. 30s.

Contiene 19 biografías, cada una con una fotografía y una bibliografía sobre el biografiado.

Notas sobre los colaboradores

M. F. MADELIN

Nació en Londres en 1931 y desde 1947 a 1948 fue asistente en el herbario del *Commonwealth Mycological Institute* de Kew, pasando luego a estudiar botánica hasta 1951 en el *Imperial College* de Londres, donde más tarde fue nombrado Demostrador. A fines de 1953 fue nombrado Profesor de Micología en la Universidad de la Costa de Oro (hoy Ghana). En 1957 reingresó en el Imperial College como Profesor de Micología. Sus principales investigaciones se desarrollan sobre la fisiología de los hongos entomogénicos.

E. F. G. HERINGTON

Estudió en el *Royal College of Science* de Londres. Después de obtener su doctorado en 1937 ingresó en el personal de la *Fuel Research Station* de Greenwich y más tarde fue transferido durante seis años para estudiar los procesos de catálisis en el Departamento de Ciencia Coloidal de Cambridge. En 1946 pasó al *National Chemical Laboratory*, Teddington, donde es Jefe de la Sección de Purificación y Medidas. Es autor de numerosos trabajos científicos y ha colaborado en un libro sobre la destilación.

N. G. STEWART

Nació en Buckie, Banffshire, en 1916 y estudió en la Universidad de Aberdeen. Realizó sus primeros trabajos en el *Reactor Research and Development Establishment*, donde llegó a ser Jefe de Grupo encargado del diseño de antenas y guías de onda; en 1948 ingresó en la División de Higiene Física del *Atomic Research Energy Establishment*, Harwell, donde trabajó sobre diversos problemas relacionados con la difusión atmosférica. En 1958 fue nombrado Jefe de la División de Higiene y Seguridad del *Dounreay Experimental Reactor Establishment*. Durante el año actual regresará a Harwell como Jefe de la División de Higiene Física.

A. J. MARSHALL

Nació en Sydney en 1911 y estudió en la Universidad de Sydney y en la de Oxford. Ha trabajado principal pero no exclusivamente sobre la fisiología de la reproducción en los vertebrados en relación con el medio ambiente. En la actualidad es Catedrático de Biología y Fisiología Comparada en la Universidad Monash de Victoria, Australia.

W. E. SWINTON

Nació en Scotland en 1901 y estudió en la Universidad de Glasgow. En 1930 ingresó en el personal del *British Museum* (*Natural History*). Se interesa principalmente en el estudio de los reptiles fósiles; es autor de varios libros sobre la paleontología de los vertebrados. Es Secretario general de la *British Association*.

J. E. LYNN

Nació en Newcastle upon Tyne in 1932 y estudió en la Universidad de Durham, donde se graduó en física en 1953. Es en la actualidad Oficial Superior de Investigación en el *Atomic Energy Research Establishment*, Harwell, donde ha trabajado sobre problemas teóricos y experimentales de física neutrónica. Ha sido nombrado para un cargo de investigador durante un año, desde septiembre de 1960, en el *Argonne National Laboratory*.

P. H. GREGORY

Nació en Exmouth, Devon, en 1907 y estudió en el *Imperial College* de Londres. Ha sido investigador en micología en el *Manitoba Medical College* de Winnipeg de 1931 a 1934 y en el *Seale-Hayne Agricultural College* de Newton Abbot de 1935 a 1940. Desde ese año hasta 1954 se ocupó de investigaciones de patología vegetal en la *Rothamsted Experimental Station* de Harpenden. De 1954 a 1958 fue Catedrático de Botánica en el *Imperial College* de Londres, de donde se reincorporó a la *Rothamsted Experimental Station* como Jefe del Departamento de Patología Vegetal.